

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Model zásobníku teplé užitkové vody**

**vedoucí práce: Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.  
autor: Josef Purkrábek**

**2012**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2011/2012**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef PURKRÁBEK**  
Osobní číslo: **E09B0183P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Model zásobníku teplé užitkové vody**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

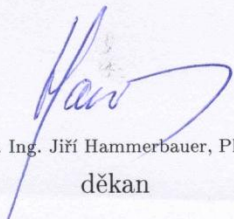
1. Popište možnosti ohřevu a akumulace TUV
2. Ve vhodném simulačním SW sestavte model zásobníku TUV
3. Simulujte odběr malého a většího množství vody, proveďte energetickou rozvahu, na jak dlouhou dobu se vyplatí zásobník vypínat a kdy již nikoliv (např. před odjezdem na dovolenou)
4. Shrňte dosažené výsledky.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


1. katalogy výrobců ohřívačů
2. manuál simulačního SW

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.**  
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na simulaci zařízení pro ohřev vody a možných případů, které mohou nastat při běžném používání. Parametry modelu je možné měnit dle potřeby, což z aplikace dělá univerzální nástroj pro namodelování libovolného zásobníku teplé užitkové vody.

## **Klíčová slova**

Matlab, zásobník, voda, energie, ztráty, termostat, teplota, ohřev, simulace, model.

## **Abstract**

The submitted bachelor's work is focused on the simulation of the equipment for heating of water. It deals with possible cases which can occur during common usage. It is possible to change the parameters of the model according to the need. Then it makes this application universal for simulation of various hot proces water reservoir.

## **Key words**

Matlab, reservoir, water, energy, losses, thermostat, temperature, heating, simulation, model.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 3. 6. 2012

Jméno příjmení

---

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Bohumilu Skalovi, Ph.D., za jeho vedení při tvorbě práce, cenné připomínky a rady při psaní této práce.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM POUŽÍVANÝCH ZNAČENÍ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 SOFTWARE PRO SIMULACI - MATLAB®</b> .....	<b>11</b>
1.1 VÝHODY MATLABU.....	11
1.2 ZADÁVÁNÍ PŘÍKAZŮ .....	12
1.3 ZÁKLADNÍ OVLÁDÁNÍ PROGRAMU .....	12
<b>2 MOŽNOSTI OHŘEVU</b> .....	<b>13</b>
2.1 OBECNĚ O VODĚ .....	13
2.2 ZPŮSOBY OHŘEVU VODY .....	13
2.2.1 <i>Ohřev elektřinou s pomocí HDO</i> .....	14
2.2.2 <i>Kombinovaný ohřev</i> .....	15
2.2.3 <i>Průtokové ohříváče vody</i> .....	16
2.3 VÝBĚR ZÁSOBNÍKU.....	17
2.4 ORIENTAČNÍ SPOTŘEBA TEPLÉ VODY .....	18
<b>3 MOŽNOSTI AKUMULACE</b> .....	<b>19</b>
3.1 MATERIÁLY PRO AKUMULACI.....	20
<b>4 SIMULACE ZÁSOBNÍKU TUV</b> .....	<b>21</b>
4.1 PŘÍPRAVA NA SIMULACI.....	21
4.2 SIMULACE ODBĚRU MALÉHO MNOŽSTVÍ VODY .....	22
4.3 SIMULACE ODBĚRU VĚTŠÍHO MNOŽSTVÍ VODY .....	25
4.4 KOMBINOVANÁ SIMULACE ODBĚRU BĚHEM DNE .....	27
4.5 KOMBINOVANÁ SIMULACE ODBĚRU BĚHEM DNE S VYUŽITÍM SYSTÉMU HDO ....	29
<b>5 ENERGETICKÁ ROZVAHA</b> .....	<b>33</b>
5.1 CÍRKULACE TEPLÉ VODY .....	33
5.2 KDY SE VYPLATÍ VYPNOUT ZÁSOBNÍK? .....	35
5.3 DALŠÍ ZPŮSOBY ŠETŘENÍ ENERGIE .....	36
<b>6 ZÁVĚR</b> .....	<b>38</b>
<b>7 POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>39</b>
<b>8 PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>



## Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou ohřevu teplé užitkové vody. Model zásobníku simuluje skutečný zásobník, samovolné ochlazování vody a další děje, které při těchto procesech nastávají.

Matematickým modelem v programu Matlab<sup>®</sup> je pak možné teoreticky popsat děje odehrávající se v zásobníku a poměrně přesně také umožní výpočet různých hodnot jako například dobu ohřevu vody nebo energii spotřebovanou na ohřátí na požadovanou teplotu a energii ztracenou samovolným chladnutím.

Další možností matematického modelu je například simulovat odběry vody o jakémkoliv množství a výpočty pak lze zjistit parametry zásobníku v jakémkoliv stádiu průběhu.

Pro lepší pochopení dané problematiky, práce také obsahuje úvodní informace o způsobu ohřevu a akumulaci teplé vody, které jsou nezbytné pro další řešení problému.

## Seznam používaných značení a zkratk

<i>TUV</i> .....	Teplá užitková voda
<i>HDO</i> .....	Hromadné dálkové ovládání
<i>DZD</i> .....	Družstevní závody Dražice
<i>VT</i> .....	Vysoký tarif
<i>NT</i> .....	Nízký tarif
$Q$ [J] .....	Teplo
$m$ [kg] .....	Hmotnost
$c$ [kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]..	Měrná tepelná kapacita
$\Delta t$ [°C] .....	Rozdíl teplot
$m_{celk}$ [kg] .....	Celková hmotnost vody
$m_o$ [kg] .....	Hmotnost ohřáté vody
$m_s$ [kg] .....	Hmotnost studené vody
$t_o$ [°C] .....	Teplota ohřáté vody
$t_s$ [°C] .....	Teplota studené vody
$t_p$ [°C] .....	Požadovaná teplota vody
$t$ [h] .....	Čas
$Q_p$ [kWh] .....	Celková energie dodaná na ohřev
$Q_v$ [l.min <sup>-1</sup> ] .....	Množství odebírané vody
$P_p$ [W] .....	Příkon vyhřívacího tělesa
$dP_{odv}$ [kWh] .....	Ztrátová energie
<i>PUR</i> .....	Polyuretan

# 1 Software pro simulaci - Matlab<sup>®</sup>

Pro simulaci modelu zásobníku teplé užitkové vody je potřeba poměrně mnoho matematických výpočtů, které popisují děje probíhající uvnitř zásobníku. Díky programu Matlab<sup>®</sup> si lze simulaci podstatně usnadnit. Avšak ani sebelepší program neudělá vše sám a je potřeba mu zadat, jak se má daný problém matematicky vyřešit. To znamená, že je nejprve nutné, aby programátor daný problém pochopil. Pokud toto zvládneme, je možné sestavit algoritmus výpočtu, se kterým už si počítačový software dokáže poradit. Než se tedy pustíme do programování, je potřeba znát řešený problém teoreticky.

## 1.1 Výhody Matlabu

Slovo Matlab<sup>®</sup> vzniklo složením anglických slov MATrix LABoratory, což lze volně přeložit jako maticová laboratoř. A právě pro práci s maticemi je Matlab<sup>®</sup> také primárně určen. Jeho jednoduchost spočívá v tom, že se programátor nemusí starat, jak proměnné vznikají, jakého jsou typu, kam se data ukládají v paměti a mnoho dalšího. Což samozřejmě zrychluje práci při programování a tím šetří čas programátora. Na druhou stranu tento SW nemá tak trochu dopředu předpřipravené postupy výpočtů jako například programy Mathematica nebo Maxima. Vše co programátor potřebuje, si musí buď naprogramovat sám, nebo si vyhledat, zda by mu práci neusnadnil nějaký toolbox. [1]

Značnou výhodou Matlabu je obrovské množství toolboxů, které je možné do základního programu přidat. Přidáním nějakého toolboxu se může zjednodušit problém, který chceme vyřešit. Řešení nějakých technických problémů tak již není jen o počítání na papír. [1]

Další nespornou výhodou tohoto software je, že i když byl původně vyvíjen pro UNIXové systémy, postupem času se dostal na téměř všechny operační systémy Microsoft Windows nevyjímaje. Před řešením problému je potřeba si nejprve uvědomit co vlastně budeme chtít vypočítat. Ještě před vlastním programováním je potřeba si problém analyzovat a celou úlohu si rozdělit na více menších částí, které se budou postupně řešit. Pokud se nám povede elementární problémy řešit jeden po druhém,

ve výsledku dostaneme funkční program, který má nějaké vstupní proměnné a vrací nám požadované výsledky. [2]

Velmi výrazná je pomoc Matlabu při prezentaci výsledků. Zobrazení výsledku lze provést jen jako strohý výpis hodnot, ale také lze výsledky zobrazit i jinak, například grafickým zobrazením.

Filozofie matlabu je taková, že všechna zadaná čísla automaticky bere jako vektor. Zadání jen jednoho čísla tedy znamená, že se stejně vytvoří vektor, který však má jen jednu jedinou hodnotu. [2]

Další nesporná výhoda Matlabu je také velmi pečlivě sepsaný help programu, kde je možné nalézt všechny potřebné informace.

## 1.2 Zadávání příkazů

Patrně díky tomu, že byl Matlab<sup>®</sup> dříve určen spíše pro UNIXové systémy je komunikačním rozhraním programu jen jednoduchá příkazová řádka. Pro další ovládání, je tedy nutné znát příkazy, které je možné zadat. Pro nejjednodušší výpočty tato řádka dostačuje. Příkazy se musí zadávat po jednom a problém nastává, pokud chceme nějaký výpočet opakovat například pro jiné hodnoty. Nejhorší případ co může nastat je, že nám nezůstane nic jiného než všechny příkazy opakovat.[3]

To je samozřejmě velmi nepraktické a v případě delších výpočtů snad ani nemožné. Proto v matlabu existuje editor skriptů, do kterého je možné zapsat příkazů mnohem více, a poté se stisknutím jediného tlačítka provedou všechny najednou. To samozřejmě značně ulehčuje práci například při hledání chyb nebo ladění programu. [3]

## 1.3 Základní ovládání programu

Nemá smysl zde vypisovat celý obsah helpu, ale alespoň pár nejzákladnějších příkazů jistě stojí za zmínku. Matlab<sup>®</sup> kromě toho, že je tak trochu méně uživatelsky příjemný díky příkazové řádce, nám práci usnadňuje právě tím, že většina příkazů je jednoduchých a také trochu intuitivních. [4]

Jak již bylo řečeno Matlab<sup>®</sup> je určen především pro práci s maticemi a tudíž také každé zadané číslo okamžitě také bere jako vektor. Operace s vektory je pak již velmi jednoduchá. Například násobení matic nebo podobné operace lze snadno vyřešit

jediným příkazem na jednom řádku. Je potřeba také myslet na to, že po každém stisknutí enteru se příkaz ihned provede, což může někdy vadit. Lepší možností pro trochu složitější úlohy je založení nového scriptu. Po otevření nového okna editoru se objeví jen bílá stránka. Stačí pouze již jen zadávat jednotlivé příkazy oddělené středníkem. Na jedné řádce tedy může být napsáno i více příkazů najednou, pokud jsou všechny odděleny. Tím se programátorovi dané aplikace výrazně zjednodušuje práce při strukturovaném psaní programu a jeho následným laděním. [4]

## 2 Možnosti ohřevu

### 2.1 Obecně o vodě

Voda je základní potřebou pro každodenní činnost jakéhokoliv člověka. Samotné lidské tělo je tvořeno až ze 70 procent vodou, takže je pro život na naší planetě naprosto nezbytná. Tam kde není voda, život brzy zmizí. V dávných dobách stačilo lidem žít v blízkosti nějakého vodního zdroje a byli spokojeni, protože vodu měli. Postupem času se vše vylepšovalo a ani na vodu se nezapomínalo. Každý chtěl mít vodu blíž u sebe, protože je stále potřeba. Voda se používá ve všech možných odvětvích výroby, například k chlazení, vodní pára pohání turbíny pro výrobu elektrické energie a takto lze pokračovat.

Voda jakožto jedna z nejzákladnějších kapalin na naší planetě dokáže samovolně měnit své skupenství jen podle teploty okolí. Což může někdy být výhodné, ale někdy tento efekt může být i na škodu. Voda tedy může nabývat třech skupenství. Chlazením vody je možné získat z kapalného stavu led, tedy pevné skupenství, nebo zahříváním vodní páru.

### 2.2 Způsoby ohřevu vody

Možností jak vodu ohřívat je samozřejmě mnoho. Výběr správného systému pro ohřev vody, například pro použití v rodinném domě tedy není vůbec jednoduchá záležitost. Je potřeba dopředu vědět mnoho faktorů, které výběr zásadně ovlivňují.

### 2.2.1 Ohřev elektřinou s pomocí HDO

Jedná se nejspíše o jeden z nejjednodušších způsobů jak zajistit teplou vodu pro domácnost. Stačí zajistit alespoň jednofázový, samostatně jištěný přívod k místu uložení zásobníku a pomocí topné spirály, uvnitř zásobníku, pak celý objem vody ohřát na požadovanou teplotu.

V případě ohřevu vody pomocí elektrického zásobníku je zde zajímavá možnost úspory energie a tedy i snížení nákladů na běžný provoz. Výrobce energie se snaží své odběratele motivovat, aby například právě zásobníky teplé vody a jiné energeticky náročné spotřebiče zapínali mimo odběrovou špičku.

V praxi tento jev vypadá tak, že je systém hromadného dálkového ovládání (dále jen HDO), nastaven tak, aby spotřebiče spínal pouze v časy mimo odběrovou špičku. Pokud tedy odběratel má své přístroje vybaveny detektorem HDO signálu, stačí tedy tento systém pouze aktivovat. Přístroj pak samostatně spíná. Podmínky sepnutí jsou však nyní tedy dvě. První podmínkou je, aby teplota vody klesla na dolní spínací mez, a druhou podmínkou je, aby byl detekován také HDO signál. Teplota vody může klesnout například odběrem vody nebo samovolným stydnutím vody.

Tento systém má výhody i nevýhody. Největší výhodou je poměrně velká úspora finančních prostředků při ohřevu vody. Systém HDO totiž spíná podle potřeb výrobců energie. Ti se snaží, aby byla celková spotřeba energie co nejvíce vyrovnaná během celého dne. Spotřeba energie však je velmi výrazně proměnná v čase, a jelikož energii zatím člověk neumí nijak skladovat je potřeba taková, aby se vyrobená energie v každém časovém okamžiku rovnala také okamžité spotřebě.

Z těchto poznatků plyne, že pokud se spínají výkonné spotřebiče elektrické energie, tak se razantně zvyšují nároky na přenosovou soustavu, která musí v jeden okamžik přenášet obrovské množství energie. Právě kvůli tomuto jevu je snaha výrobců energie o rovnoměrné odběry energie pochopitelná. Spotřebitele tedy výrobci motivují tak, že v určitých časových okamžicích prodávají vyrobenou energii levněji. To je právě vhodná doba například pro domácnosti, které toho mohou využít. Právě spínání podle HDO je velmi účinný nástroj jak úspor dosáhnout. Bohužel se nedosahují úspory energie, ale finančních prostředků za energii. Tím myslím že například zásobník teplé vody o příkonu 2000 W potřebuje tento výkon stále stejný nezávisle na čase.

Nevýhoda spínání pouze podle HDO je však také značná. Pokud se zásobník spíná pouze podle HDO je potřeba s tím také uvažovat. Pokud totiž například přes noc zásobník nahřeje vodu na požadovanou teplotu a po vypnutí HDO se voda odebere ve velkém množství tak se opět musí čekat na další sepnutí pro ohřev vody, což může trvat klidně i několik hodin v závislosti na četnosti spínání. Obvyklé je, že nízký tarif, při kterém je vhodné vodu ohřívat, je aktivní přibližně 8 hodin denně. Tato doba může být ještě rozdělena například na 2 hodiny odpoledne přibližně kolem 16 až 18 hodiny a pokračování nízkého tarifu je až v noci přibližně od 22 do 4 hodin ráno. [5]

### 2.2.2 Kombinovaný ohřev

Tato možnost je dle mého názoru velmi zajímavá z hlediska potřeby energie dodané ve formě elektřiny. Díky kombinaci s dalším typem dodávání energie, je možné dosáhnout značných úspor energie elektrické.

Mezi možné způsoby jak teplo do zásobníku dodávat je například dodávání teplé vody dalším nezávislým okruhem například od kotle na vytápění. Toto zapojení vyžaduje o něco složitější konstrukci celého zásobníku. V tom musí již být integrován právě další výměník pro přívod teplé vody. Pokud bychom tedy uvažovali teplotu vody v kotli 80°C bylo by tedy výhodné tuto teplotu vody dostat také do zásobníku a přes spirálový výměník tepla tak předávat potřebné teplo do vody v zásobníku. Pokud bychom tedy uvažovali již zmiňovanou teplotu z kotle 80°C, objem zásobníku 95 litrů, průtok vody 310 l/hod a teplosměnnou plochu výměníku 0,68 m<sup>2</sup>, tak by ohřátí vody z 10°C na 60°C pouze výměníkem v celém zásobníku trvalo přibližně 48 minut. Jmenovitý tepelný výkon by odpovídal hodnotě 9 000 W. Pokud však jen při stejných parametrech zvýšíme průtok vody od kotle na 720 l/hod, zvýší se tepelný jmenovitý výkon spirálového výměníku na hodnotu 17 000 W. To samozřejmě zkrátí dobu ohřevu vody z 10°C na 60°C na pouhých 23 minut. Tento systém lze samozřejmě různě upravovat a měnit. Pokud například ještě zvýšíme i plochu teplosměnného výměníku z 0,68 m<sup>2</sup> na velikost 1,08 m<sup>2</sup> a průtok vody od kotle ponecháme na hodnotě 720 l/hod, tak se nám jmenovitý tepelný výkon při teplotě topné vody 80°C ještě zvýší na hodnotu 24 000 W. Čas ohřátí vody v zásobníku, se tak ještě více zkrátí na pouhých 17 minut. [6]

Toto ohřívání samozřejmě funguje samovolně na principu, že teplá voda z kotle stoupá vzhůru do zásobníku, kde předá teplo studenější vodě v zásobníku.

Toto platí vždy, protože stále musí platit, že teplo se předává od teplejšího tělesa k tělesu studenějšímu a nikdy ne naopak. Teplejší těleso se tedy vždy ochlazuje. Jakmile se voda od kotle v zásobníku dostatečně ochladí, začne klesat níž a vrací se tak zpět do kotle, kde se znovu ohřeje a celý proces se neustále opakuje. Tento děj však probíhá relativně velmi pomalu a držet teplotu vody v kotli neustále na vyšší teplotě, než je voda v zásobníku, by nemuselo být nutné. Při použití oběhového čerpadla lze tento děj poměrně hodně urychlit. Oběhové čerpadlo nám totiž zajistí, že voda bude v rozvodních vedeních proudit rychleji, což způsobí, že se voda v zásobníku nestihne ochladit natolik, aby se zpět vracela samovolně a ztratila tak veškerou svoji energii ve formě tepla. Voda se pak v kotli nemusí opět ohřívat o takový teplotní rozdíl a jde zpět do potrubí a do zásobníku. Tento systém nám umožňuje dodat do zásobníku podstatně více tepla za mnohem kratší čas díky výrazně vyššímu průtoku.

Další systémy kombinovaného ohřevu pracují na stejném principu, jen se mohou měnit zdroje tepla. V současné době se poměrně rychle rozvíjejí solární systémy pro získávání energie ve formě teplé vody. Zásobník teplé vody je tedy možné ještě rozšířit o další zdroj tepla. Solární kolektory však mají nevýhodu v tom, že jsou závislé na době slunečního svitu, což je faktor, který lze jen těžko ovlivnit. Sluneční aktivita dosahuje maxima v letních měsících jako je červenec a srpen a naopak téměř zanedbatelné teplo kolektory generují v měsících jako prosinec a leden. Nicméně i tak lze investicí do solární techniky značně šetřit elektrickou energií pro ohřev vody.

### 2.2.3 Průtokové ohříváče vody

Další možností jak získat teplou vodu jsou průtokové ohříváče vody. Jejich nespornou výhodou je rychlost dodání teplé vody, protože zpravidla bývají umístěny co nejbližší odběrovému místu a tím se razantně zkracuje vzdálenost, jakou musí teplá voda urazit od zdroje k odběratelskému místu. Tím se samozřejmě také dosáhne snížení ztrát ochlazováním vody během dopravy. Některé typy těchto lokálních zdrojů teplé vody mohou mít také integrovaný malý zásobník, ve kterém neustále udržují požadovanou teplotu. [7]

Nevýhodou těchto typů ohříváčů je ve většině případů nižší energetická účinnost, a pokud také v jeden okamžik potřebujeme větší množství vody o požadované teplotě, tak malý průtokový ohříváč pravděpodobně nebude schopný dodat takové množství.



## 2.3 Výběr zásobníku

Pro výběr správného typu a především velikosti zásobníku je potřeba alespoň přibližně vědět jaké množství vody a o jaké požadované teplotě bude potřeba dodat. Pro tuto práci byl vybrán jako modelový příklad typ zásobníku od firmy DZD Dražice s typovým výrobním označením OKCE 100 a standardními parametry zobrazenými v tabulce 2.1.

Typ	OKCE 100
Objem [l]	100
Maximální provozní tlak nádoby [MPa]	0,6
Napětí [V]	230
Příkon [W]	2000
Elektrické krytí	IP 45
Výška ohřívače [mm]	881
Průměr ohřívače [mm]	524
Maximální hmotnost ohřívače bez vody [kg]	42
Doba ohřevu elektrickou energií z 10 °C na 60 °C [hod]	3
Tepelné ztráty/třída energetické účinnosti [kWh/24 hod]	0,88/C

**Tabulka 2.1 Parametry modelovaného zásobníku [8]**

V programu modelujícím děje v zásobníku, se kterým budeme pracovat v dalších kapitolách, je samozřejmě možné libovolně měnit vstupní hodnoty a to umožňuje zadat parametry téměř jakéhokoliv zásobníku.

S výběrem vhodného zásobníku pro určitou aplikaci, by měla být spojena alespoň základní představa, jak se bude zásobník zatěžovat odběry vody. Je samozřejmě mnoho postupů jak alespoň přibližně vypočítat potřebu horké vody. Pro základní představu by měla postačit tabulka 2.2 s doporučeným minimálním objemem zásobníkového ohřívače vody v  $\text{dm}^3$ , tedy přímo v litrech.

Způsob ohřevu		Elektricky						Plyn, dřevo, uhlí (celoročně, neomezeně)
		malá		střední		vysoká		
Předpoklad spotřeby								
Denní / noční proud		denní	noční	denní	noční	denní	noční	
Počet osob	1	20	50	20	50	50	80	80
	2	20	50	50	80	80	125	80
	3	50	80	80	125	100	160	100
	4	50	100	100	160	125	200	100
	5	80	100	125	180	160	250	100
	6	100	125	160	200	200	300	125
	7>	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt	projekt

**Tabulka 2.2 Doporučený minimální objem zásobníkového ohřivače v litrech [9]**

Z tabulky je celkem jednoznačně patrné, že až do počtu šesti lidí v obytné jednotce je možné se rozhodnout o velikosti zásobníku pouze orientačně podle hodnot v tabulce.

Pokud by se však mělo jednat o zásobník pro větší počet lidí je konzultace velikosti zásobníku s odborníkem nutná a nevyhnutelná. Jak jsem již zmiňoval dříve, tak pro tuto práci bude jako referenční typ OKCE 100, který disponuje zásobníkem o velikosti 100 litrů a příkonem 2000W při napájecím napětí 230V.

## 2.4 Orientační spotřeba teplé vody

Při výběru správného typu zásobníku bychom také neměli zapomínat se zamyslet nad tím, kolik teplé vody bude potřeba. Pokud například velikost zásobníku příliš předimenzujeme, bude pak docházet k větším ztrátám energie. Pro příklad bych uvedl srovnání ztrát zásobníku vybraného pro tuto práci tedy typu OKCE 100 a typu od stejného výrobce s označením OKCE 1000 a objemem vody 1000l.

Typ OKCE 100 má tepelné ztráty 0,88kWh/24h, což ho řadí do třídy C energetické účinnosti. Typ OKCE 1000 je sice zařazen do třídy energetické

účinnosti A, ale nicméně jeho ztráty jsou 3,9 kWh/24h. To tedy znamená, že přestože má vyšší energetickou účinnost tak dosahuje více než 3 krát vyšších ztrát. [6]

Pokud tedy budeme disponovat takto velkým zásobníkem, ale již nebudeme požadovat tolik teplé vody, který je tento typ zásobníku schopen dodat tak bude docházet ke značným ztrátám energie. Z tohoto hlediska je tedy správné dimenzování

<b>Orientační spotřeba teplé vody</b>		
<b>Účel</b>	<b>Spotřeba vody l/osobu a den</b>	<b>Teplota °C</b>
Mytí rukou	3 - 6	37
Mytí hlavy	5 - 10	37
Sprchování	50	37
Vanová lázeň	150	40
Vanová lázeň se sprchováním	150 - 200	40
Mytí nádobí	5 - 10	50 - 60
Úklid	10	50

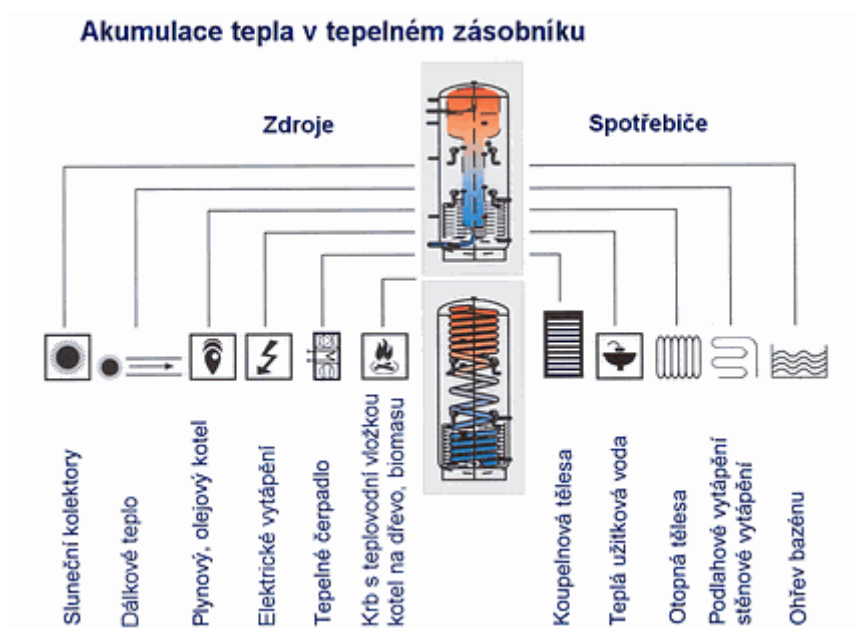
**Tabulka 2.3 Orientační spotřeba TUV [10]**

velikosti zásobníku zcela zásadní. Pro správný odhad potřebného množství teplé vody nám trochu může pomoci přehledová tabulka 2.3 s průměrnými hodnotami. [10]

### 3 Možnosti akumulace

S možnostmi akumulace jsem se již trochu zabýval v předcházející kapitole, a proto by bylo vhodné, si mezi těmito možnostmi, udělat malé shrnutí možných řešení. Velmi zajímavé je také zabývat se vhodností a účinností těchto řešení. Pro rodinný dům je doporučována minimální velikost akumulátorové nádrže alespoň 500 litrů. [12]

Podle mého názoru se v současné době nejvíce uplatňují akumulční nádrže plněné vodou, které se zásobují tepelnou energií dodávanou například ohřevem elektřinou, kotlem nebo ze solárních panelů. To ale samozřejmě neznamená, že se jedná o jediné možné konstrukce řešení. Teplo je možné akumulovat dvěma hlavními způsoby. Akumulace do stavebních konstrukcí a akumulace do nějakých akumulčních prvků. Může se například jednat o již zmíněnou vodu, ale lze také použít jiné materiály a to nejen kapalné ale i pevné látky jako například vosk určený k těmto účelům nebo zem. [11]



Obrázek 3.1 Možnosti zdrojů a akumulace tepla. [11]

### 3.1 Materiály pro akumulaci

Jak jsem již zmínil v úvodním odstavci této kapitoly tak dle mého názoru se nejčastěji jako náplň zásobníku využívá voda, případně také voda s přidavkem aditiv a inhibitorů. Měrná tepelná kapacita vody je  $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , což je jedna z nejvyšších hodnot, ze všech látek. To však neznamená, že se jedná o jedinou možnou variantu náplně akumulátoru. Jiné látky mohou dosahovat lepších tepelně akumulčních vlastností. [12]

Nádrž může také obsahovat materiály s takzvanou fázovou přeměnou. Především se jedná o parafiny a mastné kyseliny. Tyto látky tak dosahují lepších výsledků než běžně používaná vodní náplň. [12]

Možností je však nepřeberné množství. Je možné také použít například kamenivo, jehož největší výhodou je vyšší rozsah pracovních teplot, ale je možné použít také další zajímavé materiály. Tato problematika je však velmi rozsáhlá a mimo rozsah této práce.

Nicméně výhody vodní náplně jsou zatím pro běžné použití stále převažující a proto se ve své práci zaměřím především na tuto vodní náplň, pokud nebude uvedeno jinak.

## 4 Simulace zásobníku TUV

V této kapitole se konečně dostáváme k tomu nejzajímavějšímu na celé práci a to je samotná práce s modelováním zásobníku. Jak jsem psal již v předchozích kapitolách tak jako modelový příklad byl vybrán 100 litrový zásobník s typovým označením OKCE 100.

Pro simulaci a výpočty byl vybrán program Matlab<sup>®</sup> popsáný v úvodní kapitole tohoto textu. V této kapitole bychom se nyní měli zaměřit na zpracování simulace odběru malého a většího množství vody a vyhodnotit stavy, kterých zásobník nabývá.

### 4.1 Příprava na simulaci

Pro správné pochopení simulace je potřeba si nejprve vysvětlit, jak vlastně simulace bude probíhat, co všechno lze v simulaci ovlivnit a především zde stanovit hodnoty, které budou považovány jako výchozí hodnoty při modelování.

Parametrů jak lze simulaci ovlivnit je samozřejmě mnoho a bylo by tedy nyní vhodné si tyto parametry vhodně definovat, aby věrohodně popisovaly reálný stav. Je zřejmé, že parametry modelovaného zásobníku se během modelování měnit nebudou. Tyto hodnoty jako objem, příkon spirály atd. jsou již definovány v tabulce 2.1 a proto se jimi nyní již nebudeme zabývat. Zde si pouze v tabulce 4.1 nadefinujeme hodnoty, které ovlivnit lze, a mohou se měnit.

Definovaná veličina	Výchozí hodnota
Teplota vstupující vody	10 °C
Dolní spínací teplota termostatu	37 °C
Horní vypínací teplota termostatu	50 °C
Teplota okolí nádoby	15 °C

**Tabulka 4.1 Definování výchozích hodnot**

## 4.2 Simulace odběru malého množství vody

Nyní je potřeba si určit kolik vody se odebere. Podle již uvedené tabulky 2.3 v kapitole 2.4, je možné alespoň přibližně odhadnout množství odebrané vody pro jednotlivé potřeby.

Pro malé množství vody by jako příklad mohlo postačovat mytí rukou. Podle výše uvedené tabulky je odhadovaný odběr vody 3 – 6 litrů. Pro simulaci budeme uvažovat nepříznivou variantu v podobě 6 litrů vody, která má průtok 0,02 litrů za sekundu. To je 1,2 litru za minutu. 6 litrů tedy touto rychlostí proteče přesně za 5 minut. Nezanedbatelným parametrem je samozřejmě teplota vody, kterou požadujeme pro mytí. Podle odhadu je teplota vody pro mytí rukou přibližně 37 °C. Nyní tedy je potřeba vypočítat jaké množství ohřáté vody se odebere ze zásobníku.

Pro začátek budeme pro simulaci předpokládat, že zásobník je plně ohřátý na požadovanou teplotu a voda v zásobníku je dokonale promíchána a má konstantní teplotu v jakémkoliv místě. Pokud tedy bude požadavek na dodání 6 litrů vody o teplotě 37 °C, je potřeba výpočtem zjistit kolik vody o teplotě 50 °C se odebere. Nyní by bylo vhodné si tedy shrnout požadavky, které máme.

Teplota studené vody:	10 °C
Teplota požadované vody:	37 °C
Teplota ohřáté vody:	50 °C
Celkové množství vody:	6 litrů

Aby bylo možné určit kolik teplé vody, se skutečně dodalo, je potřeba nejprve vyřešit základní kalorimetrickou rovnici.  $Q$  značí množství tepla,  $m$  je hmotnost,  $c^{1)}$  odpovídá měrné tepelné kapacitě vody a  $\Delta t$  je rozdíl teplot vody.

$$Q = m \times c \times \Delta t [J] \quad (4.1) [13]$$

Můžeme tedy předpokládat, že teplo odevzdané teplou vodou se rovná teplu přijatému studenou vodou. Pro usnadnění výpočtu ještě budeme předpokládat, že 1 litr vody se rovná 1 kilogramu. Zanedbáme tedy, že hustota vody je při 20 °C 998 Kg.m<sup>-3</sup> a pro výpočet tedy budeme uvažovat konstantní hodnotu 1000 Kg.m<sup>-3</sup>. [13]

$$Q_{studené} = Q_{ohřáté}$$

$$m_s \times c \times \Delta t = m_o \times c \times \Delta t \quad / \times \frac{1}{c}$$

$$m_s \times \Delta t = m_o \times \Delta t$$

$$m_s \times (t_p - t_s) = m_o \times (t_o - t_p)$$

Požadujeme, aby součet hmotností teplé a ohřáté vody byl 6 kg, což odpovídá 6 litrům vody.

$$m_s + m_o = m_{celk} \quad (4.2)$$

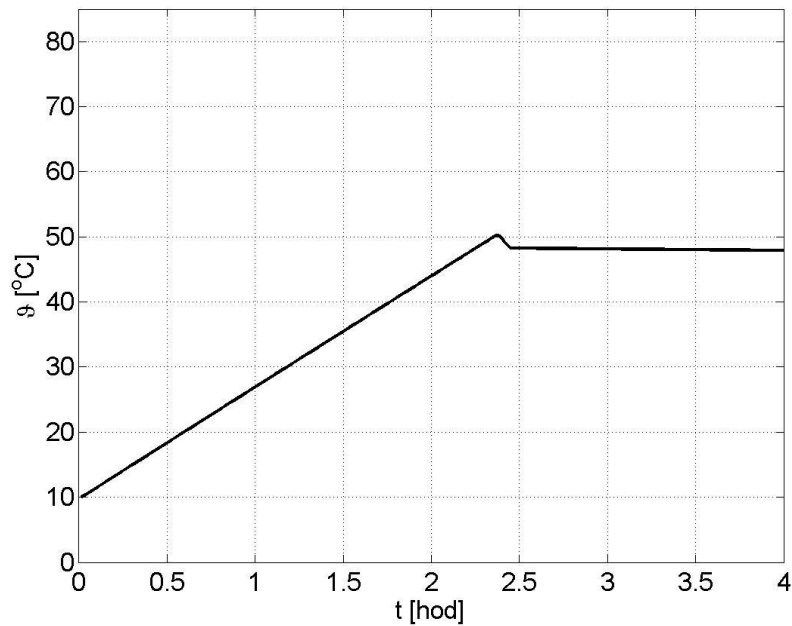
Dosazením rovnice tedy po úpravách získáme konečný vztah:

$$m_o = \frac{m_{celk}}{1 + \frac{t_o - t_p}{t_p - t_s}} [kg] \quad (4.3)$$

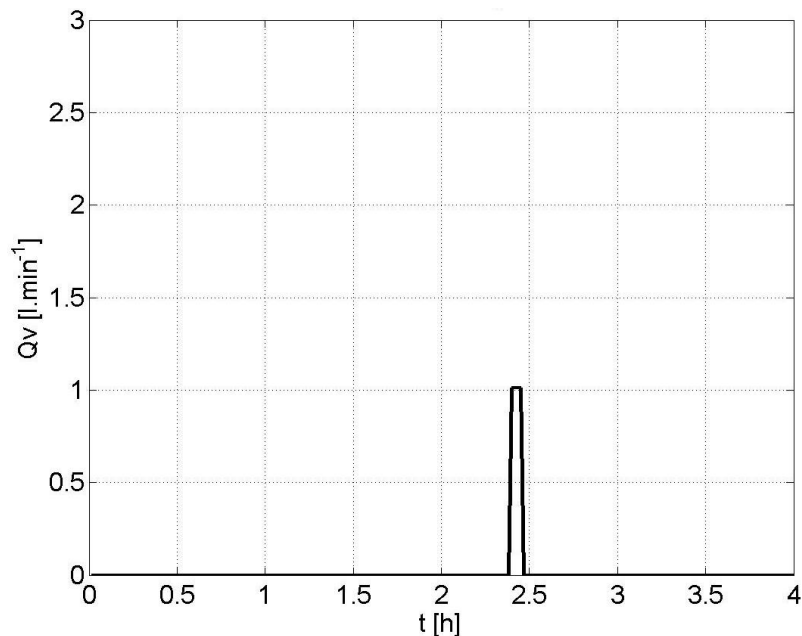
Pokud tedy dosadíme do výsledné rovnice požadované parametry, vychází nám, že objem ohřáté vody musí být přibližně 4,05 litru. Simulaci tedy bude provedena pro odběr 4,05 litrů s průtokem 0,016875 litru za sekundu. Pro simulaci bude předpoklad plně ohřátého zásobníku na požadovanou teplotu 50 °C.

---

<sup>1)</sup> Pro vodu je hodnota měrné tepelné kapacity  $c = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  [14]



**Graf 4.1 Závislost teploty vody na odběru v čase**



**Graf 4.2 Odběr vody při průtoku 0,02 [l/s] v čase**

Při odběru tohoto malého množství vody poklesla teplota zásobníku z 50 °C na hodnotu 48,6 °C a pak teplota klesá již jen nepatrně díky samovolnému stydnutí vody. Z grafu číslo 4.2 je patrné, že při přepočtu na minuty je odběr vody 1,0125 litru za minutu a doba odběru je 4 minuty. To ve výsledku znamená požadovanou hodnotu 4,05 litru. Program má nastaveno vzorkování výpočtu po 1 minutě a bude tudíž zaokrouhlovat na celé minuty. Proto je potřeba nastavit odpovídající průtok vody, aby vše správně vycházelo. Odběr takto malého množství vody, tedy pro zásobník o objemu 100 litrů, neznamená příliš velkou zátěž ani ztrátu akumulovaného tepla.



### 4.3 Simulace odběru většího množství vody

Při simulaci většího množství vody je nutné se opět nejprve zamyslet, jak lze na simulaci pohlížet a jaké vstupní parametry simulace, by byly vhodné pro věrohodné popsání probíhajícího děje.

V předchozí simulaci jsme uvažovali míchání teplé a studené vody na výstupu, abychom dosáhli požadované výstupní teploty. Při takto malých odběrech jsme pro jednoduchost neuvažovali stydnutí vody od teploty okolí a například ochlazování od napouštěné nádoby. Při simulaci většího množství vody však již toto nejsou nezanedbatelné parametry a patrně by bylo téměř nutné, nebo alespoň přinejmenším vhodné je do simulace zahrnout.

V našem případě se však budeme soustředit spíše na simulaci zásobníku teplé vody jako takového a tudíž pro snazší simulaci nebudeme uvažovat, jak se výstupní voda dále ochlazuje.

Pro začátek je tedy potřeba si nejprve definovat výchozí hodnoty simulace. Jako referenční hodnota většího množství vody nám může posloužit údaj z tabulky 2.3 pro orientační spotřebu teplé vody. V této tabulce je uvedeno, že průměrná vanová lázeň má objem 150 litrů o výsledné teplotě 40°C. Pro simulaci je však potřeba vědět kolik teplé vody se odebere ze zásobníku a to bez ohledu na to, jak se změní teplota po výstupu ze zásobníku nebo kolik studené vody se následně ještě přimíchá do již napuštěné teplé. Tento údaj však není tak jednoduché vypočítat zcela přesně díky již zmiňovanému ochlazování vody například od okolního vzduchu. Je samozřejmé, že teplejší látka předává energii látce studenější a nikdy ne naopak.

Pro simulaci tedy bude zcela postačovat alespoň fundovaný odhad spotřeby teplé vody. Budeme opět uvažovat nejhorší variantu pro zásobník, abychom simulací pokryli všechny méně náročné odběry většího množství vody. Jako předpoklad tedy můžeme stanovit již zmiňované hodnoty.

Podle již upravené kalorimetrické rovnice lze dopočítat alespoň velmi přibližné potřebné množství ohřáté vody. Za hodnotu  $m_{celk}$  dosadíme číslo 150 litrů, požadovaná teplota  $t_p$  je rovna hodnotě 40°C a za hodnoty  $t_o$  a  $t_s$  dosadíme 50°C, respektive 10°C. Z této rovnice tedy vyčíslením hodnot získáme, že je potřeba minimálně 112,5 litru vody o teplotě 50°C, abychom získali vanovou lázeň o objemu 150 litrů a teplotě 40°C.

Z tohoto vyplývá, že zásobník o velikosti 100 litrů není schopen takového množství vody dodat a je potřeba tedy vstupní parametry trochu upravit.

Podle již uvedené kalorimetrické rovnice lze výpočtem zjistit maximální získatelné množství vody o teplotě 40°C. Pokud budeme uvažovat 100 litrů vody o teplotě 50°C, tak podle kalorimetrické rovnice je možné ze zásobníku získat maximálně 133 litrů vody o teplotě 40°C. Tento předpoklad vychází ze vztahu v upravené rovnici 4.3.

$$m_s = \frac{m_o \times (t_o - t_p)}{t_p - t_s} [kg] \quad (4.4)$$

Po číselném dosazení tedy dostaneme:

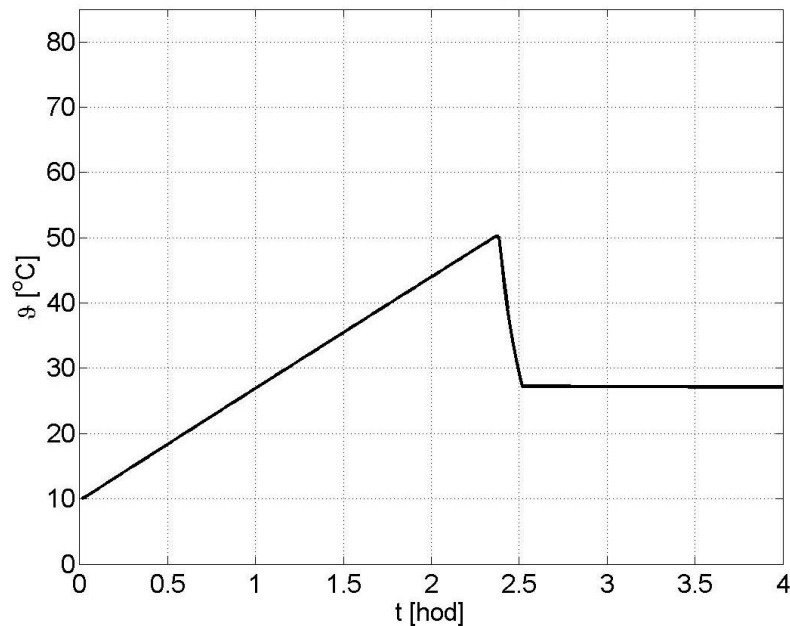
$$m_s = \frac{100 \times (50 - 40)}{40 - 10} = 33,3 [kg]$$

Z tohoto plyne, že do objemu 100 litrů vody o teplotě 50°C je potřeba ještě dolít přibližně 33 litrů studené vody o teplotě 10°C abychom získali vodu o výsledné teplotě 40°C. V tomto případě tedy jde o krajní případ jaký je schopen plně ohřátý zásobník na teplotu 50°C dodat. Toto platí, pokud zanedbáme okolní vlivy prostředí jako již zmiňované ochlazování od okolí případně od napouštěné nádoby.

Pro simulaci tedy budeme uvažovat hodnoty trochu menší než je tento maximální stav. Hodnoty pro simulaci tedy můžeme stanovit například takto:

Teplota ohřáté vody:	50°C
Objem dodané teplé vody:	80 litrů
Délka trvání odběru:	8 minut
Průtok ze zásobníku:	10 litrů za minutu (odpovídá 0,1667 l/s)

Pro zajímavost lze ještě z kalorimetrické rovnice dopočítat kolik litrů studené vody se bude muset dodat, aby vznikla voda o teplotě 40°C pro vanovou lázeň. Do rovnice 4.4 pouze dosadíme výše uvedené hodnoty a jen doplníme teplotu studené vody, která je 10°C. Z uvedeného vztahu tedy vyjde, že je potřeba dolít přibližně 26,6 litru studené vody.



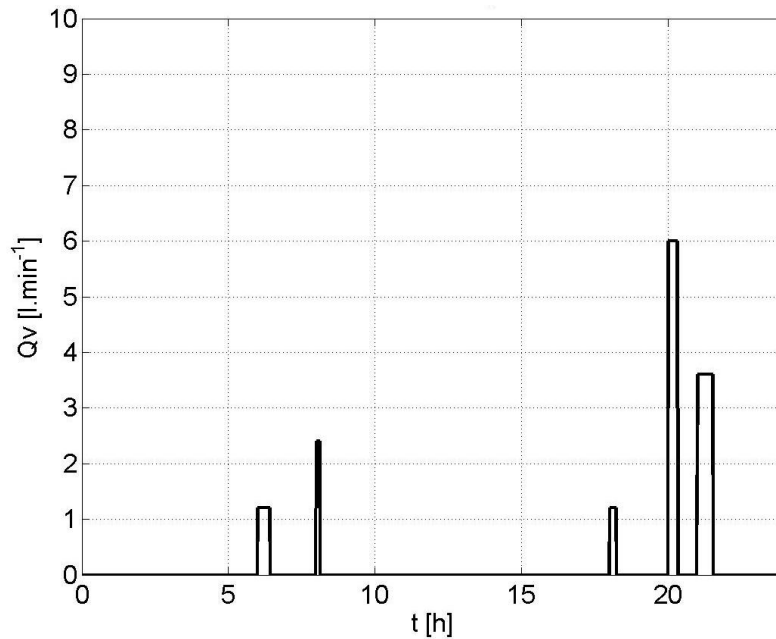
**Graf 4.3 Závislost teploty vody na odběru v čase**

Z grafu 4.3 je patrné, že odběr 80 litrů vody je pro zásobník značná zátěž. Pokud bychom uvažovali, že mezi teplou a studenou vodou je nekonečně tenká oddělovací linka, tak bychom mohli uvažovat, že zbylo 20 litrů vody o teplotě 50°C a dopustilo se 80 litrů vody studené o teplotě 10°C. Pouhým výpočtem bylo zjištěno, že výsledná teplota po smíchání tedy má být 30°C. Simulace však kromě míchání vody počítá také se ztrátami a proto je v simulaci po smíchání vody zobrazena hodnota 27,2°C.

Odběr vody tedy trval přesně 8 minut s průtokem 10 litrů za minutu, což ve výsledku znamená požadovaných 80 litrů. Simulace také předpokládá, že se během odběru vody nebude zásobník ohřívat, což si lze představit například tím, že se zásobník ohřívá, jen když je aktivní systém HDO.

#### 4.4 Kombinovaná simulace odběru během dne

Tento typ odběru se bude pravděpodobně nejvíce blížit reálným požadavkům na zásobník. V tomto typu simulace bude během jednoho dne více odběrů teplé vody. V simulaci bude uvažováno, že zásobník není v režimu spínání na HDO a spíná tedy kdykoliv podle aktuální potřeby. Během dne bude provedeno celkem pět odběrů teplé vody o různých průtocích a také s jinou dobou trvání. Budeme také předpokládat, že nyní se již zásobník bude ohřívat, pokud teplota vody poklesne pod stanovenou mez, která v našem případě činí 45°C.

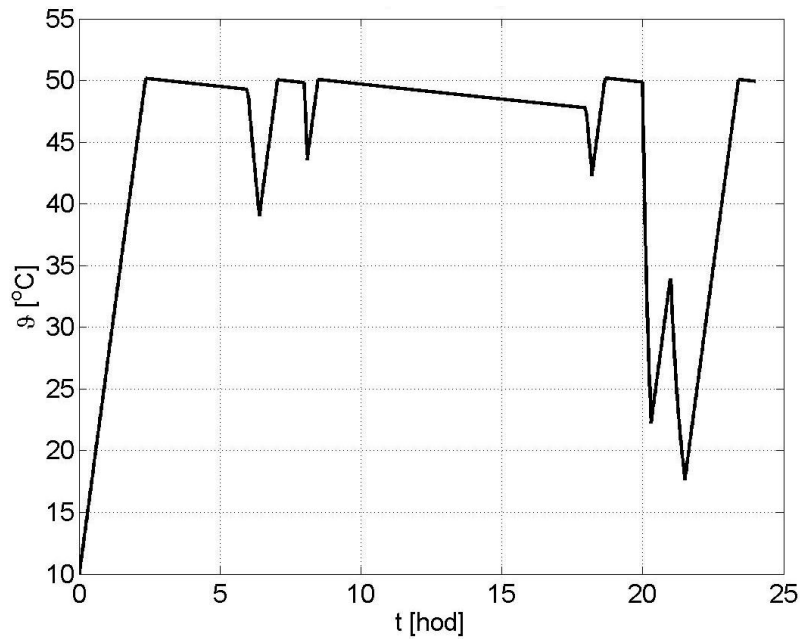


**Graf 4.4 Odběry teplé vody během dne**

Z grafu jsou vidět všechny odběry během jediného dne. Celkem se během jediného dne odebralo 288 litrů vody ze zásobníku, což odpovídá například dvakrát napuštěné vanové lázni a mytí rukou během dne. Nyní si shrneme různé typy odběrů:

1. Odběr	25 minut	1,2 l/min	30,0 l
2. Odběr	7 minut	2,4 l/min	16,8 l
3. Odběr	13 minut	1,2 l/min	15,6 l
4. Odběr	19 minut	6,00 l/m	114,0 l
5. Odběr	31 minut	3,6 l/m	111,6 l

Z grafu 4.5 je možné zkontrolovat, jak se mění teplota vody v zásobníku během odběru. Předpokládá se ideální míchání vody a jsou také započítány ztráty samovolným stydnutím vody. Z počátku se voda ohřála na požadovanou teplotu 50°C a přibližně až do 6 hodiny teplota klesala samovolným stydnutím. Poté následovaly dva menší odběry, kdy teplota poklesla pod dolní spínací mez tedy v tomto případě pod 45°C. Zásobník díky poklesu teploty sepnul a nahřál se opět na požadovanou teplotu. Mezi 9 a 17 hodinou voda pouze stydne samovolně, ale nepoklesne pod minimálních 45°C. Následuje ještě jeden menší odběr a zásobník opět sepne a dohřeje se na požadovanou teplotu. Další odběr již znamená pro zásobník takovou zátěž, že ani když sepne ohřev vody, tak nedokáže zabránit velkému poklesu teploty až k 23°C. Po zastavení odebírání

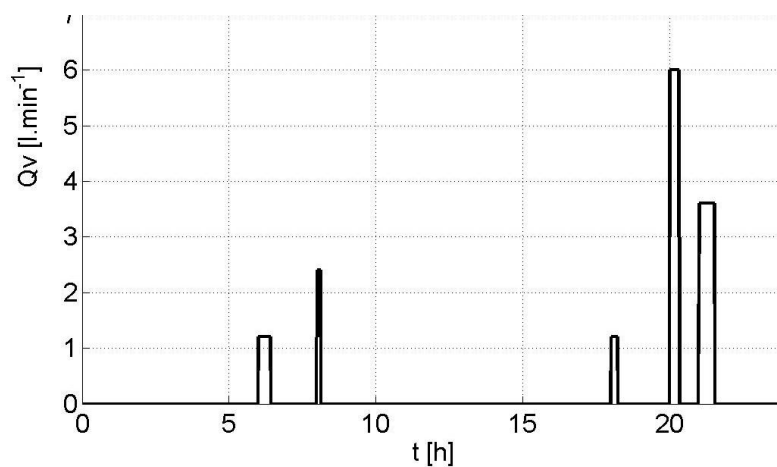


**Graf 4.5 Průběh teploty vody během odběrů**

vody se teplota začne zvyšovat, ale dalším odběrem vody se opět vrací ke klesajícímu trendu. Tento odběr znamená pokles teploty až k 18°C. Tento výkyv dokáže zásobník vyrovnat opět na 50°C až za 143 minut.

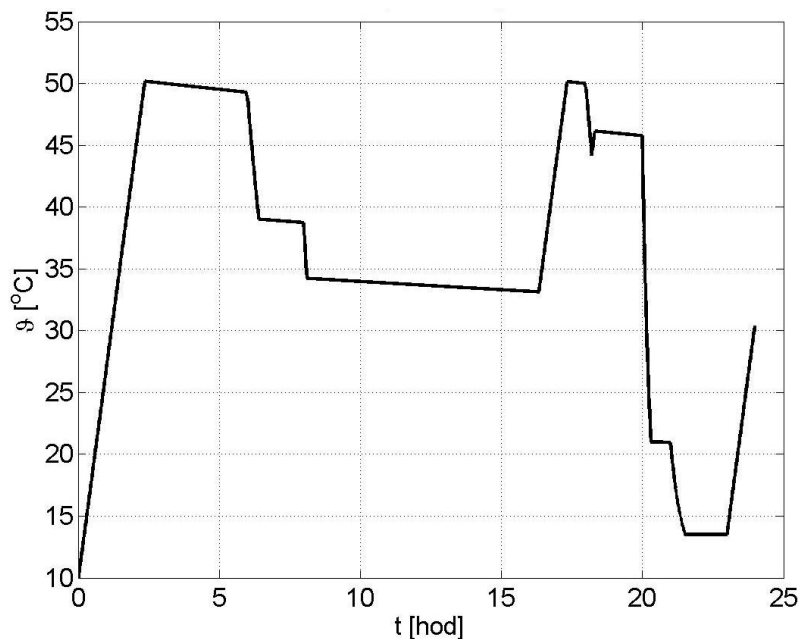
#### 4.5 Kombinovaná simulace odběru během dne s využitím systému HDO

Nyní bychom si celou simulaci mohli zopakovat jen s tím rozdílem, že bychom při simulaci uvažovali použití systému HDO. To by znamenalo také nutnost mít nainstalovaný dvou sazbový elektroměr, který rozlišuje VT a NT. Odběry vody ponecháme beze změn.



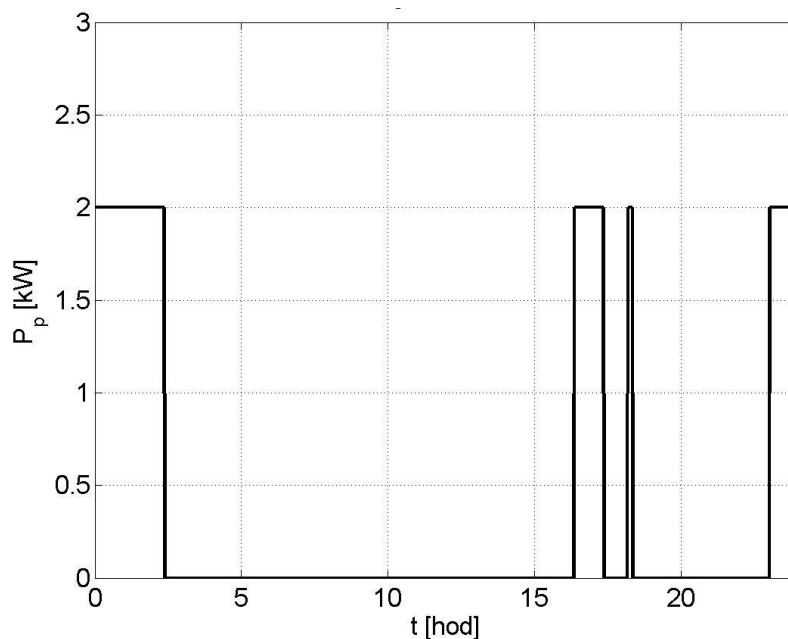
**Graf 4.6 Odběry teplé vody během dne**

I když budeme simulovat stejné odběry vody během dne podle grafu 4.6, tak simulace se při spínání v systému HDO zachová trochu odlišně. V simulaci jsou napevno nastaveny časy spínání. Pro sepnutí ohřevu již nyní nestačí, jen aby teplota v zásobníku poklesla pod 45°C, ale navíc je ještě potřeba, aby byl aktivován režim HDO. V simulaci jsou časy HDO nastaveny v rozmezí: 00 - 05, 16:20 - 18:20 a v 23 - 24 hodin. V ostatních případech, i pokud je teplé vody nedostatek, zásobník nesezne.



**Graf 4.7 Průběh teploty vody během odběrů**

Z grafu 4.7 je vidět, že díky odběrům vody teplota kolem 8 hodiny poklesla pod 35°C a zásobník přesto neseznel. V rozmezí od 8 téměř do 17 hodiny je tedy teplé vody nedostatek. V čase 16:20 zásobník sezne, ale trvá ještě 60 minut, než dokáže vodu ohřát na požadovanou teplotu. Dalším odběrem voda opět poklesne pod požadovaných 45°C a zásobník sezne. Již se mu však ale nepodaří, vodu úplně ohřát, protože v čase 18:20 je vypnut HDO signál. Teplota vody tedy zůstane na hodnotě 46,2°C. Další dva velké odběry zásobník naprosto vyprázdí téměř až na teplotu vstupní vody, která je již ohřívána pouze z teploty okolí. Prvním velkým odběrem teplota poklesne na 21°C a druhý velký odběr znamená pokles na hodnotu 13,6°C, což je již velmi nízká teplota pro veškerou činnost. Poté zásobník opět sezne až při další detekci NT v čase 23:00 a do konce simulace v čase 24:00 stihne ohřát vodu na hodnotu 30,4°C. Spínání vyhřívacího tělesa ilustruje graf 4.8. Zde je v časovém rozmezí 16:20 – 18:20 vidět, že se zásobník ohřeje na požadovanou teplotu a vypne. Odběr vody znamená opět



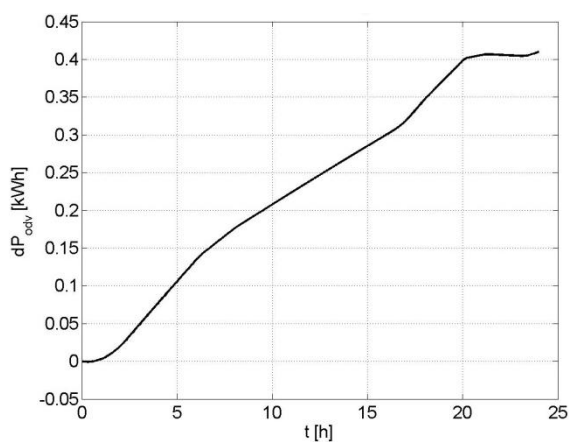
**Graf 4.8 Spínání vyhřívacího tělesa**

sepnutí vyhřívacího tělesa, ale díky vypnutí signálu HDO trvá druhé sepnutí v tomto časovém intervalu pouze 8 minut, což pro úplné ohřátí nestačí.

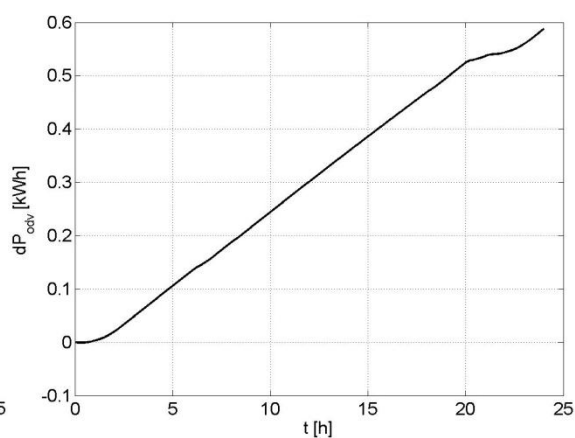
Tento typ simulace tedy ukazuje výhody i nevýhody akumulace při aktivním HDO. Výhoda tohoto řešení je samozřejmě úspora finančních prostředků díky tomu, že zásobník spíná pouze při NT.

Značná nevýhoda tohoto spínacího režimu však spočívá v tom, že po prvních dvou odběrech vody teplota poměrně znatelně klesne a zásobník místo ohřevu stále čeká na zapnutí signálem HDO.

Při odebrání stejného celkového množství vody tedy 288 litrů vychází také jiné hodnoty pro celkové dodané energie na ohřev a celkových ztrát celého zásobníku.



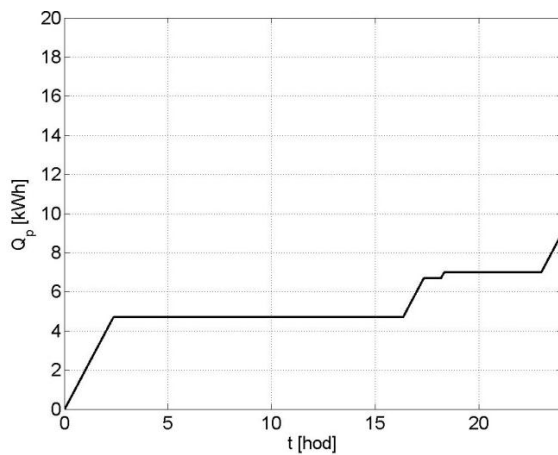
**Graf 4.9 Celková ztrátová energie s HDO**



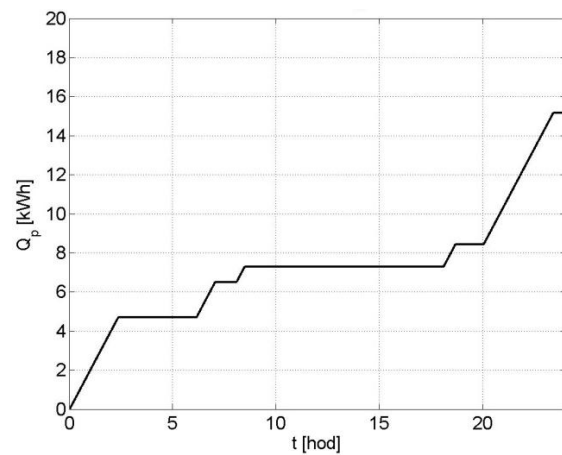
**Graf 4.10 Celková ztrátová energie bez HDO**

Toto srovnávání však může být trochu zavádějící hned z několika důvodů. Celková ztrátová energie v systému bez HDO je sice vyšší, ale na druhou stranu máme požadovanou teplotu vody téměř stále k dispozici. Dosažení této vyšší teploty tedy způsobuje i vyšší ztráty. V systému s využitím HDO je v jeden okamžik dokonce ztrátová energie záporná. Tento případ nastane ve chvíli, kdy je zásobník zcela studený a voda se ohřívá z teploty okolí. Během dne také teplota díky odběrům poklesla na nižší teplotu a tudíž i ztrátová energie se díky menšímu rozdílu teplot snížila.

Celková dodaná energie na ohřev vody se také u obou případů trochu liší.



**Graf 4.11 Celková dodaná energie s HDO**



**Graf 4.12 Celková dodaná energie bez HDO**

Dodaná energie je opět nižší s využitím systému HDO, ale opět je to za cenu toho, že během dne zásobník nesepe, i když je teplé vody nedostatek.

Na objem se také odebralo sice stejné množství vody, ale je jasné, že bez použití HDO měla výstupní voda vyšší teplotu, protože zásobník se neustále snažil vodu dohřívat na požadovanou teplotu.



## 5 Energetická rozvaha

### 5.1 Cirkulace teplé vody

Jednou z možných variant dopravy teplé vody k odběrnému místu je cirkulace. Toto řešení je zajímavé tím, že se nemusí zbytečně čekat, dokud z trubek od zdroje teplé vody nedorazí teplá voda. Šetří se tím tedy náklady na vodu, protože není potřeba studenou vodu odpouštět.

Ve velkých obytných domech, kde je zásobník velmi vzdálen od odběrných míst prakticky nelze zajistit teplou vodu jinak než cirkulací. Je potřeba tedy zajistit cirkulační potrubí, což má za následek, že při rozvodech vody se musí zajistit o jedno vedení více, aby voda mohla cirkulovat. Průchod teplé vody potrubím samozřejmě musí zajišťovat oběhové čerpadlo, což je další elektrický spotřebič. Je také vhodné se zamyslet, zda je nutné, aby čerpadlo bylo nepřetržitě v provozu například i v nočních hodinách, kdy se dá očekávat, že odběry teplé vody budou minimální. Možným řešením by také bylo vodu cirkulovat, pouze když je detekován HDO signál, tedy noční proud. To se však obecně nedoporučuje díky chladnutí vody v celém zásobníku, což je nežádoucí jev. [9]

V malých rodinných domech je tedy vhodnější umístit zdroj teplé vody tak, aby byl co nejbližší všem odběrným místům a ztráty na vedení se tak snížily na minimum. Nicméně to však neřeší problém s odpouštěním studené vody. Pokud by byl požadavek na cirkulaci vody v menším domě, je potřeba vhodně navrhnout umístění zásobníku a také vzít v úvahu cestu přívodního a cirkulačního potrubí. Cirkulace vody znamená vedení zdroje tepla po domě. V topné sezoně chladnutí vody ve vedení nemusí znamenat 100 procentní ztráty, protože se dá říci, že se jedná o zdroj tepla pro dům. Předpoklad pro tuto myšlenku je takový, že je dům poměrně dobře izolovaný a utěsněný. Nicméně pokud rozvody vody dům oteplují i mimo tepnou sezonu jedná se v tomto případě jednoznačně o ztráty. Obecně však lze říci, že čím delší cirkulační potrubí je, tím více je cirkulace ztrátová a po energetické stránce tudíž i nevýhodná, kvůli vyšším ztrátám energie. Cirkulaci lze také nahradit přihřívacím kabelem vedeným podél potrubí a dosáhnout tím udržování teploty.

Nyní by bylo vhodné si spočítat ztráty tepla v cirkulačním potrubí a délku potrubí, kdy jsou ztráty ještě poměrně únosné. Pro výpočet je opět potřeba definovat vstupní parametry.

Typ izolace:	PUR
Tloušťka izolace:	20 mm
Materiál trubky:	Měď (Součinitel tepelné vodivosti: $372 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )
Průměr trubky:	18 mm
Síla stěny trubky:	1 mm
Teplota vody:	$50^\circ\text{C}$
Teplota okolí:	$15^\circ\text{C}$
Relativní vlhkost:	65%

Pokud se tyto hodnoty zadají do výpočtu, pak podle zdroje [15] vycházejí hodnoty tepelných ztrát s izolací  $6,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$ . Toto je samozřejmě hodnota pro délku jednoho metru potrubí. Pokud bude potrubí delší, tak se tato hodnota ztrát násobí počtem metrů. Z toho vyplývá, že při délce 10 metrů potrubí s touto izolací dochází ke ztrátám o velikosti  $66,7 \text{ W}$ . Je potřeba ovšem přihlídnout k tomu, že teplá voda tedy teče téměř okamžitě po otočení kohoutku a nemusí se již odpouštět studená voda z trubek.

Podle stránek výrobce ohřivačů [16] je vzdálenost, kdy se ještě dá o cirkulaci uvažovat někde kolem 6 metrů délky potrubí. Toto platí při průměru potrubí  $\frac{3}{4}$ " tedy 19 mm. Výrobce zásobníků také nedoporučuje cirkulaci používat u příliš malých ohřivačů a v případech kdy je ohřev vody spínán pouze na tzv. noční proud. Tedy HDO signálem. [16]

## 5.2 Kdy se vyplatí vypnout zásobník?

Vypínání zásobníku je jednou z možností, jak lze šetřit elektrickou energií a tedy také šetřit náklady na elektrický ohřev. Otázkou však zůstává kdy zásobník vypnout, abychom měli jistotu, že skutečně ušetříme.

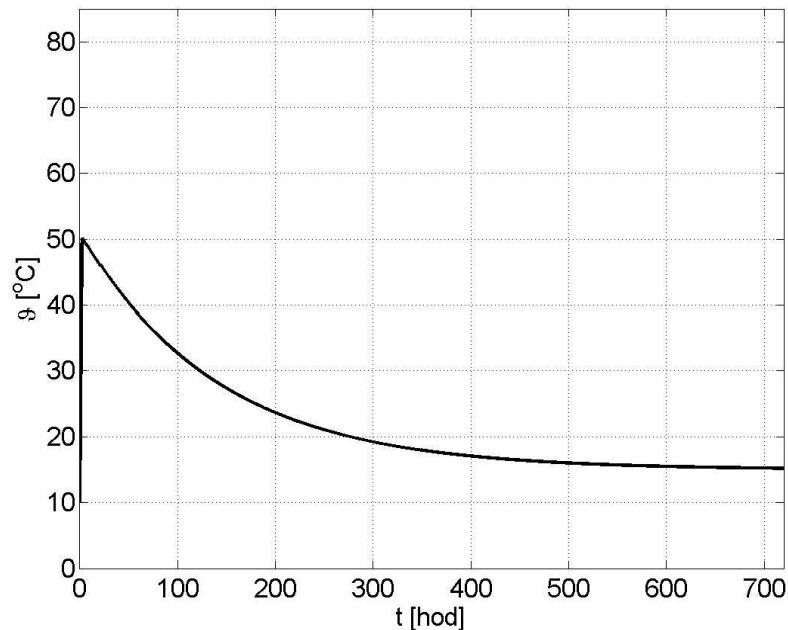
Pokud je zásobník ohřátý na 60°C pak dosahuje ztrát 0,88 kWh/24h. Ceny elektřiny se samozřejmě liší od různých dodavatelů a celková cena energie se skládá z více složek jako například silová elektřina, distribuce a tak dále. Proto je poměrně obtížné dopočítat přesnou cenu za energii. V našem modelovém případě budu uvádět pouze orientační hodnoty, alespoň pro představu možných úspor. Pokud tedy budeme předpokládat průměrnou cenu energie, která se pohybuje kolem 5 korun za kWh, tak zásobník za 24 hodin ztratí energii, která stála 4,4 koruny. [17]

V případě dvou tarifové sazby ceny energií se akumulace energie v zásobníku spíná podle HDO v časech, kdy se to hodí výrobcům energií. Odběratel je tudíž motivován nižší cenou energie, aby pro takto výkonné spotřebiče tyto dvou sazbové ceny energií využíval. Cena elektřiny v nižším tarifu tedy v průměru bývá kolem 2 korun za kWh. Při ztrátách 0,88 kWh za 24 hodin tedy ztratíme energii za 1,8 koruny.

Nyní je tedy potřeba si promyslet, jak teplou vodu budeme potřebovat a především si ujasnit, kdy bude potřeba. Pokud tedy například zásobník na 1 den vypneme, ušetříme tím tedy 4,4 koruny, pokud máme jednu sazbu elektřiny a 1,8 koruny pokud využíváme dvou tarifní sazbu. [18]

Je však potřeba také uvážit, že pokud je zásobník plně ohřátý na požadovanou teplotu, tak samovolným stydnutím vody energii bez užitku ztratíme. Navíc pokud se další den rozhodneme pro odběr teplé vody, budeme muset čekat, než se voda ohřeje, protože požadovaná teplota vody nebude ihned k dispozici. V grafu 5.1 je vidět jak samovolným stydnutím vody bez odběrů vody zásobník ohřátý na 50°C ztratí veškerou dodanou energii přibližně za 18 dní (432 hodin), kdy již teplota vody poklesne pod 18°C.

Z grafu 5.1 je jasně vidět průběh klesání teploty při samovolném stydnutí. Je logické, že díky většímu rozdílu teplot v zásobníku a v okolí teplota z počátku klesá rychleji. Při vyšších teplotách v zásobníku také dochází k vyšším ztrátám.



**Graf 5.1 Samovolné stydnutí vody**

Pokud tedy dopředu víme, že v následujících dnech nebudeme mít požadavek na odběr teplé vody tak patrně nejlepším možným řešením je vypnout zásobník pokud je všechna teplá voda již odebraná. V takovém případě budou ztráty nulové. Dalším možným řešením je například zásobník vypnout i v případě, že je ohřátý na požadovanou teplotu, ale teplou vodu ještě odebrat pro nějakou činnost. Opět tím dosáhneme jen velmi malých až zanedbatelných ztrát a dle mého názoru je tedy toto nejlepší možná volba.

### 5.3 Další způsoby šetření energie

Možností jak lze šetřit energií je mnoho, ale v této kapitole bych se alespoň pokusil shrnout ty nejdůležitější věci, na které by se mělo myslet pro správné a účinné šetření s energií.

Důležité je již při výběru zásobníku přemýšlet o tom pro kolik lidí bude potřeba dodávat teplou vodu, jaké budou požadavky na teplotu a především objem dodávané vody. Správná velikost zásobníku je tedy jedna z hlavních a klíčových otázek, na které je potřeba odpovědět. Příliš malý zásobník například nemusí vystačit při spínání v režimu HDO a hrozil by tedy nedostatek teplé vody. Příliš velký zásobník i přesto, že dosahuje větší účinnosti, zase na druhou stranu dosahuje větších ztrát i v případě pokud se teplá voda vůbec neodebírání.

Pokud již zásobník máme vybraný, měla by opět následovat úvaha kam zásobník umístit. Volba místa je velmi důležitá z mnoha hledisek. K zásobníku se od všech odběrových míst musí instalovat potrubí pro rozvody vody. Každý metr potrubí navíc představuje další ztráty. Při návrhu bychom se měli snažit o co možná nejkratší vzdálenost mezi zásobníkem a odběrným místem. Vzhledem k tomu, že se umístění zásobníku bude v budoucnosti patrně jen těžko měnit je potřeba s tímto faktem počítat.

Nyní již tedy máme zásobník vybraný a správně umístěný a je potřeba ještě vhodně zvolit požadovanou teplotu. Podle programové simulace, již pouhé snížení požadované teploty z 80°C na 50°C znamená úsporu 51%. V tabulce 5.1 jsou uvedeny další parametry jako například ztráty energie za 1 den a úspory energie pokud dojde ke snížení požadované teploty.

Teplota vody [°C]	Teplota po 24h [°C]	Pokles za 24h [°C]	Energie na ohřev [kWh]	Ztráty za 24h [kWh]	Úspora [kWh]	Úspora %
80	71	9	8,25	1,30	-	-
50	45	5	4,7	0,67	4,18	51

**Tabulka 5.1 Rozdíly při ohřevu na 80°C a 50°C**

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo zpracovat model zásobníku teplé užitkové vody a následně simulovat a vyhodnotit různé stavy, ve kterých se může zásobník nacházet. Simulace graficky zobrazují, jak se zásobník zachová při různých situacích, které mohou nastat a popisují průběh sledovaného děje.

Simulace odběru malého množství vody ukázala, že pro referenční model vybraný pro simulaci je to jen nepatrná zátěž a nedojde k žádné výrazné změně, která by nějak zásadně ovlivnila celý zásobník.

Zajímavější již byly simulace většího množství vody a především kombinace odběrů během jednoho dne. Zde se ukázalo, že pro velké odběry teplé vody může v kritickém případě dokonce nastat nedostatek teplé vody. Proto je potřeba si již na samotném začátku správně zvolit velikost zásobníku a dopředu mít ujasněnou alespoň základní představu jak se bude zásobník využívat. Právě volba vhodného typu zásobníku patří mezi nejdůležitější rozhodnutí. Správně zvolený typ dokáže uživateli šetřit náklady na provoz a omezit ztrátovou energii na minimum.

Tato simulace by tedy právě s tímto rozhodováním měla pomoci a ukázat možné problémy, které mohou nastat při běžném provozu.

Jednou ze zajímavých možností je také porovnání jak se zásobník zachová při použití HDO a kolik vody bude v tomto režimu schopen dodat. Při správném používání má tento režim nesporné výhody a zvláště finanční stránka věci je při tomto systému velmi zajímavá.

Nedílnou součástí je také porovnání v závěru práce, kde je zobrazeno, jakých úspor lze dosáhnout dalšími úpravami. Značné úspory energie lze například dosáhnout už jen tím, že snížíme požadovanou teplotu, což je otázka minimálně k zamyšlení. Už jen tato velmi jednoduchá úprava razantně sníží náklady na energii. Právě šetření energiemi je v dnešní době velmi závažné téma a stojí za to se jen zamyslet nad tím, jak a kde všude lze energiemi šetřit a zanechat tak naši planetu zdravou i pro další generace.

## 7 Použitá literatura

- [1] MATLAB - The Language of Technical Computing. MATHWORKS. *MATLAB* [online]. 2012 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- [2] HORA, Petr a Blanka HERINGOVÁ. *MATLAB: Díl I. - Práce s programem* [online]. Plzeň, 1995 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/mvs/tutorial.pdf>
- [3] HORA, Petr a Blanka HERINGOVÁ. *MATLAB: Díl II. - Popis funkcí* [online]. Plzeň, 1995 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/mvs/reference.pdf>
- [4] Matlab: lekce 1. *Matlab* [online]. [1999], č. 1 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/majerova/matlab/lekce1.html>
- [5] E.ON. *E.ON* [online]. 1. 10. 2009 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.eon.cz/cs/info/platnost-nt-pro-pevne-nastavene-elektromery.shtml>
- [6] Dzd-cs-page04.pdf. In: *Dzd-cs-page04.pdf* [online]. 2009 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/dwn/dzd-cs-page04.pdf>
- [7] Příprava teplé vody. HUDCOVÁ, Ing. Lenka, Ing. Petr KOTEK, PH.D a Ing. Karel SRDEČNÝ. *Hestia.energetika.cz* [online]. 2005, září 2008 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: [http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/7.htm#7\\_1](http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/7.htm#7_1)
- [8] DZ Dražice | Elektrické ohřivače vody - závěsné, svislé - OKCE. *Http://www.dzd.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs/elektricke-ohrivace-vody-zavesne-svisle-okce/>
- [9] DZ Dražice: Výběr ohřivače vody. *DZ Dražice* [online]. 2012 [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs/vyber-ohrivace-vody/>
- [10] Příprava teplé vody. In: *Příprava teplé vody* [online]. 2007 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z : [http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/customer\\_service/Priprava\\_teple\\_vody.pdf](http://www.eon.cz/file/cs/customers/citizen/customer_service/Priprava_teple_vody.pdf)
- [11] Akumulace tepla: TZB-info. *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla>
- [12] ŠTURSA, Libor, Ing. Materiály pro akumulaci tepla ze spalování biomasy - TZB-info. ŽEMLOVÁ, Ing. Tereza, Ing. Ivo JIŘÍČEK, CSC. a Prof. Ing. Václav JANDA, CSC. *Http://oze.tzb-info.cz* [online]. 30.8.2010 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/6740-materialy-pro-akumulaci-tepla-ze-spalovani-biomasy>

- 
- [13] KRYNICKÝ, Martin. 2203\_Kalorimetricka\_rovnice.pdf. In: Kalorimetricka rovnice [online]. 2009, 29. 11. 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: [http://ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/2\\_Molekulova\\_fyzika\\_a\\_termika/2\\_Vnitri\\_energie\\_prace\\_teplo/2203\\_Kalorimetricka\\_rovnice.pdf](http://ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/2_Molekulova_fyzika_a_termika/2_Vnitri_energie_prace_teplo/2203_Kalorimetricka_rovnice.pdf)
- [14] Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. 3. vyd., dotisk. Praha: Prometheus, 19972000, 206 s. ISBN 80-858-4984-4.
- [15] Tepelná ztráta potrubí s izolací kruhového průřezu. *Http://vytapeni.tzb-info.cz* [online]. 2002, 2007 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/44-tepelna-ztrata-potrubu-s-izolaci-kruhoveho-prurezu>
- [16] DZ Dražice | Výběr ohřívače vody. *DZ Dražice* [online]. 2006 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs/vyber-ohrivace-vody/#re8>
- [17] Ceny elektrické energie. *Energie123.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [18] Ceník produktů silové elektřiny skupiny ČEZ. *Ceník produktů* [online]. 2012, č. 1 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: [http://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/cez\\_cz\\_ele\\_cenikmoo\\_2012\\_silovka-comfort\\_web.pdf](http://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/cez_cz_ele_cenikmoo_2012_silovka-comfort_web.pdf)



## 8 Přílohy

Program pro simulaci malého množství vody:

```
dv=datevec(now); %datum vektor
den=num2str(dv(3));
mes=num2str(dv(2));rok=num2str(dv(1));hod=num2str(dv(4));
min=num2str(dv(5));
info=sprintf('%s', 'GENERATED M-FILE', den, '.', mes, '.', rok, '
', hod, ':', min)

clear all;
close all;

% Drazice, typ OKCE 100, 2kW, ztraty 0.88kWh/24h

Tvz=1; %rozliseni casu 1 minuta = 60s
dni=10; % pocet dnu pro reseni
Tk=Tvz*60*24*dni; %[min] pocet minut na konci reseni

meritkoX=4;
P=2000; %vykon topne spiraly
Tin=10; %[oC] teplota vstupujici vody
Tout=50; %[oC] teplota vystupujici vody-horni=vypinaci mez termostatu
Tlo=20; %[oC] dolni=spinaci teplota termostatu
Toko=15; %[oC] teplota okoli nadoby
c=4200; %J/(kg.K) tepelna kapacita vody
d=0.46; % [m] prumer nadoby
v=0.6; % [m] vyska nadoby
S=3.14*d*v; %plocha vnitri nadoby, izolace
V=3.14*d*d/4*v; %objem bojleru H2O [m3=1000 l]
m=V*1000; %hmotnost vody [kg]
gt=1.25; %[m2K/W] polystyren 50mm
kt=1/gt*1.2; %[W/m2K]
Rt=kt*S; %[W/K] ztraty izolace

tzl=144; %cas kdy je zasobnik plne ohraty = cas zacatku odberu
tkl=147; % cas konce odberu 4,05 litru vody
pl=0.016875; % [l/s] prtok vody

t=Tvz:Tvz:Tk;%doba reseni v case
delka=length(t); %celkovy pocet indexu
Qp(1:delka)=0;
Qv(1:delka)=0; % mnozstvi odebrane vody l/min
TH2O(1)=Tin; %pocatecni teplota H2O
if TH2O(1)>Tlo ohrev=0;
else
    ohrev=1;
    Pp(1)=P;% prikon spiraly

end;%if
for k=2:delka

    % ohrev spiralou
    if (TH2O(k-1)>Tout)
        ohrev=0;
        Pp(k)=0;% prikon spiraly
    dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
```

```

TH2O(k)=TH2O(k-1)-(dPodvH2O(k)/(c*m));% stydnutí vody, ztráty
    else
        if (TH2O(k-1)<Tlo)
            ohrev=1;
            Pp(k)=P;% příkon spirály
            Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60;%prijate teplo od spirály za Tvz
            dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
            TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));%ohrev vody spiralou

            else %if TH2O<Tlo hystereze termostatu
                if (ohrev==1)
                    Pp(k)=P;% příkon spirály
                    Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60;%prijate teplo od spirály za Tvz
                end;%if ohrev==1
                Pp(k)=0;
            dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
            TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));% stydnutí vody, ztráty
            end;
        end;% if TH20 > Tlo

        %odber vody
    if (k>=tz1) & (k<=tk1)
        Qv(k)=Tvz*p1*60;% mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
        Q1=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraného tepla
        TH2O(k) = ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
    end;

end;% for k

Qvs=cumsum(Qv)*Tvz;% odebrane mnozstvi vody
Qps=cumsum(Qp)*Tvz;% dodana energie
dQs=cumsum(dPodvH2O)*Tvz;% ztracena energie

cesta='.';
uloz=1;
scrsz = get(0,'ScreenSize');
% ----- figure 1-1 -----
h=figure('Name','Pj',...
    'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60,Pp/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('P_{p} [kW]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 3]);
end;%scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Příkon vyhrivaciho telesa','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek jako
*.jpg
end;

```

```

% ----- figure 2-2 -----
h=figure('Name','Qps',...
        'Position',[scrsz(3)/2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
plot(t/60,Qps/3600/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca','FontSize',16);
Ylabel('Q_p [kWh]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
            'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 20]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Celkova dodana energie na ohrev','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig');%ulozi obrazek jpg
end;

%----- figure 3-3 -----
h=figure('Name','TH2O',...
        'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
plot(t/60,TH2O,'-k','LineWidth',2);
XLabel('t [hod]','FontSize',16);
YLabel('\vartheta [^\circC]','FontSize',16);
grid on;
set(gca','FontSize',16);

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
            'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 85]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Teplota vody','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

%----- figure 5-1 -----
h=figure('Name','Q',...
        'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60,dQs/3600/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca','FontSize',16);
Ylabel('dP_{odv} [kWh]','FontSize',16);
Xlabel('t [h]','FontSize',16);
grid on;

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
            'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 1.5]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Ztratova energie','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

```

```

% ----- figure 6-3 -----
h=figure('Name','Qv',...
        'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
plot(t/60,Qv,'-k','LineWidth',2);
xlabel('t [h]','FontSize',16);
ylabel('Qv [l.min^{-1}]','FontSize',16);
grid on;
set(gca,'FontSize',16);

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
            'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 3]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Odber vody','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 7-1 -----
h=figure('Name','Qvs',...
        'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
plot(t/60,Qvs,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
ylabel('Q [l]','FontSize',16);
xlabel('t [h]','FontSize',16);
grid on;

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
            'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 150]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Celkove odbrane mnozstvi vody','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

```

### Program pro simulaci většího množství vody:

```

dv=datevec(now); %datum vektor
den=num2str(dv(3));
mes=num2str(dv(2));rok=num2str(dv(1));hod=num2str(dv(4));
min=num2str(dv(5));
info=sprintf('%s','GENERATED M-FILE',den,'.',mes,'.',rok,'
',hod,':',min)

clear all;
close all;

% Drazice, typ OKCE 100, 2kW, ztraty 0.88kWh/24h

Tzv=1; %rozliseni casu 1 minuta = 60s
dni=10; % pocet dnu pro reseni
Tk=Tzv*60*24*dni; %[min] pocet minut na konci reseni

```

```

meritkoX=4;
P=2000; %vykon topne spiraly
Tin=10; %[oC] teplota vstupujici vody
Tout=50; %[oC] teplota vystupujici vody-horni=vypinaci mez termostatu
Tlo=20;% [oC] dolni=spinaci teplota termostatu
Toko=15; %[oC] teplota okoli nadoby
c=4200; %J/(kg.K) tepelna kapacita vody
d=0.46; % [m] prumer nadoby
v=0.6; % [m] vyska nadoby
S=3.14*d*v; %plocha vnitřni nadoby, izolace
V=3.14*d*d/4*v; %objem bojleru H2O [m3=1000 l]
m=V*1000; %hmotnost vody [kg]
gt=1.25; %[m2K/W] polystyren 50mm
kt=1/gt*1.2; %[W/m2K]
Rt=kt*S; %[W/K] ztraty izolace

tzl=144; %cas kdy je zasobnik plne ohraty = cas zacatku odberu
% tk1=147.375; % cas konce odberu 4,05 litru vody
tk1=151; % Vzorkovani po minutach!!!!!!!!!!!!!!
%odber trvá 8 minut.Zapocitava se i index 144 => 151-144=7+první index
p1=10/60; % [l/s] prutok vody

t=Tvz:Tvz:Tk;%doba reseni v case
delka=length(t); %celkovy pocet indexu
Qp(1:delka)=0;
Qv(1:delka)=0; % mnozstvi odebrane vody l/min
TH2O(1)=Tin; %pocatecni teplota H2O
if TH2O(1)>Tlo ohrev=0;
else
    ohrev=1;
    Pp(1)=P;% prikon spiraly

end;%if
for k=2:delka

    % ohrev spiralou
    if (TH2O(k-1)>Tout)
        ohrev=0;
        Pp(k)=0;% prikon spiraly
    dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
    TH2O(k)=TH2O(k-1)-(dPodvH2O(k)/(c*m));% stydnuti vody, ztraty
    else
        if (TH2O(k-1)<Tlo)
            ohrev=1;
            Pp(k)=P;% prikon spiraly
            Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60; %prijate teplo od spiraly za Tvz
            dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
            TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));%ohrev vody spiralou

        else %if TH2O<Tlo hystereze termostatu
            if (ohrev==1)
                Pp(k)=P;% prikon spiraly
                Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60; %prijate teplo od spiraly za Tvz
            end;%if ohrev==1
            Pp(k)=0;
            dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
            TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));% stydnuti vody, ztraty
        end;
    end;% if TH2O > Tlo

```

```

    %odber vody
    if (k>=tz1) & (k<=tk1)
        Qv(k)=Tvz*p1*60; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
        Ql=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraného tepla
        TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
    end;

end;% for k

Qvs=cumsum(Qv)*Tvz;% odebrane mnozstvi vody
Qps=cumsum(Qp)*Tvz;% dodana energie
dQs=cumsum(dPodvH2O)*Tvz;% ztracena energie

cesta='.';
uloz=1;
scrsz = get(0,'ScreenSize');

% ----- figure 1-1 -----
h=figure('Name','Pj',...
    'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60,Pp/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('P_{p} [kW]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 3]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Prikon vyhrivaciho telesa','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 2-2 -----
h=figure('Name','Qps',...
    'Position',[scrsz(3)/2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
plot(t/60,Qps/3600/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('Q_p [kWh]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 meritkoX],'YLim',[0 20]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Celkova dodana energie na ohrev','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

%----- figure 3-3 -----
h=figure('Name','TH2O',...
    'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
plot(t/60,TH2O,'-k','LineWidth',2);

```

```

XLabel('t [hod]', 'FontSize', 16);
YLabel('\vartheta [^\circC]', 'FontSize', 16);
grid on;
set(gca, 'FontSize', 16);

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim', [0 meritkoX], 'YLim', [0 85]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Teplota vody', 'FontWeight', 'Bold');

jmeno=get(gcf, 'Name'); %jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta, jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h, f, 'jpg'); %saveas(h, f, 'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

%----- figure 5-1 -----
h=figure('Name', 'Q', ...
    'Position', [2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60, dQs/3600/1e3, '-k', 'LineWidth', 2);
set(gca, 'FontSize', 16);
Ylabel('dP_{odv} [kWh]', 'FontSize', 16);
Xlabel('t [h]', 'FontSize', 16);
grid on;

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim', [0 meritkoX], 'YLim', [0 1.5]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Ztratova energie', 'FontWeight', 'Bold');
jmeno=get(gcf, 'Name'); %jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta, jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h, f, 'jpg'); %saveas(h, f, 'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 6-3 -----
h=figure('Name', 'Qv', ...
    'Position', [2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
plot(t/60, Qv, '-k', 'LineWidth', 2);
XLabel('t [h]', 'FontSize', 16);
YLabel('Qv [l.min^{-1}]', 'FontSize', 16);
grid on;
set(gca, 'FontSize', 16);

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim', [0 meritkoX], 'YLim', [0 15]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Odber vody', 'FontWeight', 'Bold');
jmeno=get(gcf, 'Name'); %jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta, jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h, f, 'jpg'); %saveas(h, f, 'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 7-1 -----
h=figure('Name', 'Qvs', ...
    'Position', [2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

```

```

plot(t/60,Qvs, '-k', 'LineWidth', 2);
set(gca, 'FontSize', 16);
Ylabel('Q [l]', 'FontSize', 16);
Xlabel('t [h]', 'FontSize', 16);
grid on;
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 meritkoX], 'YLim',[0 150]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Celkove odbrane mnozstvi vody', 'FontWeight', 'Bold');
jmeno=get(gcf, 'Name'); %jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta, jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h, f, 'jpg'); saveas(h, f, 'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

```

### Program pro simulaci kombinovaného odběru:

```

dv=datevec(now); %datum vektor
den=num2str(dv(3));
mes=num2str(dv(2)); rok=num2str(dv(1)); hod=num2str(dv(4));
min=num2str(dv(5));
info=sprintf('%s', 'GENERATED M-FILE', den, '.', mes, '.', rok,
    ', hod, ':' , min)

clear all;
close all;

% Drazice, typ OKCE 100, 2kW, ztraty 0.88kWh/24h

Tvz=1; %rozliseni casu 1 minuta = 60s
dni=1; % pocet dnu pro reseni
Tk=Tvz*60*24*dni; %[min] pocet minut na konci reseni
P=2000; %vykon topne spiraly
Tin=10; %[oC] teplota vstupujici vody
Tout=50; %[oC] teplota vystupujici vody-horni=vypinaci mez termostatu
Tlo=45; %[oC] dolni=spinaci teplota termostatu
Toko=15; %[oC] teplota okoli nadoby
c=4200; %J/(kg.K) tepelna kapacita vody
d=0.46; % [m] prumer nadoby
v=0.6; % [m] vyska nadoby
S=3.14*d*v; %plocha vnitřni nadoby, izolace
V=3.14*d*d/4*v; %objem bojleru H2O [m3=1000 l]
m=V*1000; %hmotnost vody [kg]
gt=1.25; %[m2K/W] polystyren 50mm
kt=1/gt*1.2; %[W/m2K]
Rt=kt*S; %[W/K] ztraty izolace

tz1=6.0*60; %[cas v [min] zacatku odběru vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
tk1=6.4*60; %[cas v [min] konce odběru vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
p1=0.02; % [l/s]

tz2=8.0*60; %[cas v [min] zacatku odběru vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
tk2=8.1*60; %[cas v [min] konce odběru vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
p2=0.04; % [l/s]

tz3=18.0*60; %[cas v [min] zacatku odběru vody prutoku p2 ve 24h cyklu]
tk3=18.2*60; %[cas v [min] konce odběru vody prutoku p2 ve 24h cyklu]
p3=0.02; % [l/s]

```



```

tz4=20.0*60;%[cas v [min] zacatku odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
tk4=20.3*60; %[cas v [min] konce odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
p4=0.1; % [l/s]

tz5=21.0*60;%[cas v [min] zacatku odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
tk5=21.5*60; %[cas v [min] konce odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
p5=0.06; % [l/s]

t=Tvz:Tvz:Tk;%doba reseni v case
delka=length(t); %celkovy pocet indexu
Qp(1:delka)=0;
Qv(1:delka)=0; % mnozstvi odebrane vody l/min
TH2O(1)=Tin; %pocatecni teplota H2O
if TH2O(1)>Tlo ohrev=0;
else
    ohrev=1;
    Pp(1)=P;% prikon spiraly

end;%if
for k=2:delka

    % ohrev spiralou
    if (TH2O(k-1)>Tout)
        ohrev=0;
        Pp(k)=0;% prikon spiraly
    dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
    TH2O(k)=TH2O(k-1)-(dPodvH2O(k)/(c*m));% stydnuti vody, ztraty
    else
        if ((TH2O(k-1)<Tlo))
            ohrev=1;
            Pp(k)=P;% prikon spiraly
            Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60; %prijate teplo od spiraly za Tvz
        dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
        TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));%ohrev vody spiralou
        end;
    end;

    %if TH2O<Tlo hystereze termostatu
    if ((ohrev==1))
        Pp(k)=P;% prikon spiraly
        Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60; %prijate teplo od spiraly za Tvz

    else
        Pp(k)=0;
    end;%if ohrev==1

dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));% stydnuti vody, ztraty

    %odber vody
    if (k>=tz1) & (k<=tk1)
        Qv(k)=Tvz*p1*60; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
        Q1=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraného tepla
        TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
    end;
    if (k>=tz2) & (k<=tk2)
        Qv(k)=Tvz*p2*60; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
        Q2=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraného tepla
        TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
    end;
end;

```

```

if (k>=tz3) & (k<=tk3)
    Qv(k)=Tvz*p3*60 ; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q3=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;

if (k>=tz4) && (k<=tk4)
    Qv(k)=Tvz*p4*60 ; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q4=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;

if (k>=tz5) && (k<=tk5)
    Qv(k)=Tvz*p5*60 ; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q5=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;

end;% for k

Qvs=cumsum(Qv)*Tvz;% odebrane mnozstvi vody
Qps=cumsum(Qp)*Tvz;% dodana energie
dQs=cumsum(dPodvH2O)*Tvz;% ztracena energie
cesta='.';
uloz=1;
scrsz = get(0,'ScreenSize');

% ----- figure 1-1 -----
h=figure('Name','Pj',...
    'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60,Pp/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('P_{p} [kW]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 24],'YLim',[0 3]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Prikon vyhrivaciho telesa','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 2-2 -----
h=figure('Name','Qps',...
    'Position',[scrsz(3)/2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
plot(t/60,Qps/3600/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('Q_p [kWh]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 24],'YLim',[0 20]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Celkova dodana energie na ohrev','FontWeight','Bold');

```

```

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;
%----- figure 3-3 -----
h=figure('Name','TH2O',...
        'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);
plot(t/60,TH2O,'-k','LineWidth',2);
xlabel('t [hod]','FontSize',16);
ylabel('\vartheta [^\circ]','FontSize',16);
grid on;
set(gca,'FontSize',16);

axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
        'XLim',[0 24],'YLim',[0 85]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Teplota vody','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

%----- figure 5-1 -----
h=figure('Name','Q',...
        'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
plot(t/60,dQs/3600/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
ylabel('dP_{odv} [kWh]','FontSize',16);
xlabel('t [h]','FontSize',16);
grid on;

axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
        'XLim',[0 24],'YLim',[0 1.5]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Ztratova energie','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 6-3 -----
h=figure('Name','Qv',...
        'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);

plot(t/60,Qv,'-k','LineWidth',2);
xlabel('t [h]','FontSize',16);
ylabel('Qv [l.min^{-1}]','FontSize',16);
grid on;
set(gca,'FontSize',16);

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
        'XLim',[0 24],'YLim',[0 10]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Odber vody','FontWeight','Bold');

```

```

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;
% ----- figure 7-1 -----
h=figure('Name','Qvs',...
        'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60,Qvs,'-k','LineWidth',2);
set(gca','FontSize',16);
Ylabel('Q [l]','FontSize',16);
Xlabel('t [h]','FontSize',16);
grid on;

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
        'XLim',[0 24],'YLim',[0 300]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Celkove odbrane mnozstvi vody','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

```

### Program pro simulaci kombinace odběru s HDO:

```

dv=datevec(now); %datum vektor
den=num2str(dv(3));
mes=num2str(dv(2));rok=num2str(dv(1));hod=num2str(dv(4));
min=num2str(dv(5));
info=sprintf('%s','GENERATED M-FILE',den,'.',mes,'.',rok,'
',hod,':',min)

clear all;
close all;

% Drazice, typ OKCE 100, 2kW, ztraty 0.88kWh/24h

Tvz=1; %rozliseni casu 1 minuta = 60s
dni=1; % pocet dnu pro reseni
Tk=Tvz*60*24*dni; %[min] pocet minut na konci reseni

P=2000; %vykon topne spiraly
Tin=10; %[oC] teplota vstupujici vody
Tout=50; %[oC] teplota vystupujici vody-horni=vypinaci mez termostatu
Tlo=45; %[oC] dolni=spinaci teplota termostatu
Toko=15; %[oC] teplota okoli nadoby
c=4200; %J/(kg.K) tepelna kapacita vody
d=0.46; % [m] prumer nadoby
v=0.6; % [m] vyska nadoby
S=3.14*d*v; %plocha vnitřni nadoby, izolace
V=3.14*d*d/4*v; %objem bojleru H2O [m3=1000 l]
m=V*1000; %hmotnost vody [kg]
gt=1.25; %[m2K/W] polystyren 50mm
kt=1/gt*1.2; %[W/m2K]
Rt=kt*S; %[W/K] ztraty izolace

```

```

tz1=6.0*60; %[cas v [min] zacatku odberu vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
tk1=6.4*60; %[cas v [min] konce odberu vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
p1=0.02; % [l/s]
tz2=8.0*60; %[cas v [min] zacatku odberu vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
tk2=8.1*60; %[cas v [min] konce odberu vody prutoku p1 ve 24h cyklu]
p2=0.04; % [l/s]

tz3=18.0*60; %[cas v [min] zacatku odberu vody prutoku p2 ve 24h cyklu]
tk3=18.2*60; %[cas v [min] konce odberu vody prutoku p2 ve 24h cyklu]
p3=0.02; % [l/s]

tz4=20.0*60; %[cas v [min] zacatku odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
tk4=20.3*60; %[cas v [min] konce odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
p4=0.1; % [l/s]

tz5=21.0*60; %[cas v [min] zacatku odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
tk5=21.5*60; %[cas v [min] konce odberu vody prutoku p3 ve 24h cyklu]
p5=0.06; % [l/s]

t=Tvz:Tvz:Tk;%doba reseni v case
delka=length(t); %celkovy pocet indexu
Qp(1:delka)=0;
Qv(1:delka)=0; % mnozstvi odebrane vody l/min
TH2O(1)=Tin; %pocatecni teplota H2O
HDO=0;
if TH2O(1)>Tlo ohrev=0;
else
    ohrev=1;
    Pp(1)=P;% prikon spiraly

end;%if
for k=2:delka

if (((t(k)<301)) || (((t(k)>980) && (t(k)<1100))) || (((t(k)>1380) && (t(k)<1440))))
    HDO=1;
    % na pevno nastavene casy spinani HDO
    % kdyz neni nahraty spina v 0-5h, 16:20 - 18:20, 23-24
    %980*60=16,3333 hodiny => 0,333h*60=20minut
else
    HDO=0;
end;
% ohrev spiralou
if (TH2O(k-1)>Tout)
    ohrev=0;
    Pp(k)=0;% prikon spiraly
dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60; %ztraty energie do okoli za
Tvz
TH2O(k)=TH2O(k-1)-(dPodvH2O(k)/(c*m));% stydnuti vody, ztraty
else
    if ((TH2O(k-1)<Tlo) && (HDO==1))
        ohrev=1;
        Pp(k)=P;% prikon spiraly
        Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60; %prijate teplo od spiraly za Tvz
dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60;%ztraty energie do okoli za Tvz
TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));%ohrev vody spiralou
    end;
end;

%if TH2O<Tlo hystereze termostatu
if ((ohrev==1) && (HDO==1))

```

```

        Pp(k)=P;% prikon spiraly
        Qp(k)=Pp(k)*Tvz*60; %prijate teplo od spiraly za Tvz
    else
        Pp(k)=0;
    end;%if ohrev==1

dPodvH2O(k)=Rt*(TH2O(k-1)-Toko)*Tvz*60; %ztraty energie do okoli za
Tvz
TH2O(k)=TH2O(k-1)+((Qp(k)-dPodvH2O(k))/(c*m));% stydnuti vody, ztraty

    %odber vody
if (k>=tz1) & (k<=tk1)
    Qv(k)=Tvz*p1*60; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q1=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;
if (k>=tz2) & (k<=tk2)
    Qv(k)=Tvz*p2*60 ; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q2=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;
if (k>=tz3) & (k<=tk3)
    Qv(k)=Tvz*p3*60 ; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q3=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;

if (k>=tz4) && (k<=tk4)
    Qv(k)=Tvz*p4*60 ; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q4=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;

if (k>=tz5) && (k<=tk5)
    Qv(k)=Tvz*p5*60 ; % mnozstvi odebrane vody za dobu Tvz
    Q5=c*Qv(k)*(TH2O(k-1)-Tin); %mnozstvi odebraneho tepla
    TH2O(k)= ((m-Qv(k))*TH2O(k-1) + Qv(k)*Tin)/m;
end;

end;% for k

Qvs=cumsum(Qv)*Tvz;% odebrane mnozstvi vody
Qps=cumsum(Qp)*Tvz;% dodana energie
dQs=cumsum(dPodvH2O)*Tvz;% ztracena energie

cesta='.';
uloz=1;
scrsz = get(0,'ScreenSize');

% ----- figure 1-1 -----
h=figure('Name','Pj',...
    'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
plot(t/60,Pp/1000,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('P_{p} [kW]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 24],'YLim',[0 3]);

```

```

end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Prikon vyhrivaciho telesa','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 2-2 -----
h=figure('Name','Qps',...
        'Position',[scrsz(3)/2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);
plot(t/60,Qps/3600/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('Q_p [kWh]','FontSize',16);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
grid on;

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
            'XLim',[0 24],'YLim',[0 20]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Celkova dodana energie na ohrev','FontWeight','Bold');
jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

%----- figure 3-3 -----
h=figure('Name','TH2O',...
        'Position',[2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);

plot(t/60,TH2O,'-k','LineWidth',2);
Xlabel('t [hod]','FontSize',16);
Ylabel('\vartheta [^\circC]','FontSize',16);
grid on;
set(gca,'FontSize',16);

axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
            'XLim',[0 24],'YLim',[0 85]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Teplota vody','FontWeight','Bold');

jmeno=get(gcf,'Name');%jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta,jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h,f,'jpg');%saveas(h,f,'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

%----- figure 5-1 -----
h=figure('Name','Q',...
        'Position',[2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60,dQs/3600/1e3,'-k','LineWidth',2);
set(gca,'FontSize',16);
Ylabel('dP_{odv} [kWh]','FontSize',16);
Xlabel('t [h]','FontSize',16);
grid on;

```

```

axcal=0;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 24], 'YLim',[0 1.5]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Ztratova energie', 'FontWeight', 'Bold');

jmeno=get(gcf, 'Name'); %jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta, jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h, f, 'jpg'); %saveas(h, f, 'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 6-3 -----
h=figure('Name', 'Qv', ...
    'Position', [2 2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2)-60]);

plot(t/60, Qv, '-k', 'LineWidth', 2);
xlabel('t [h]', 'FontSize', 16);
ylabel('Qv [l.min^{-1}]', 'FontSize', 16);
grid on;
set(gca, 'FontSize', 16);

axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 24], 'YLim',[0 10]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka

title('Odber vody', 'FontWeight', 'Bold');
jmeno=get(gcf, 'Name'); %jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta, jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h, f, 'jpg'); %saveas(h, f, 'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

% ----- figure 7-1 -----
h=figure('Name', 'Qvs', ...
    'Position', [2 scrsz(4)/2 scrsz(3)/2 (scrsz(4)/2.3)-0]);

plot(t/60, Qvs, '-k', 'LineWidth', 2);
set(gca, 'FontSize', 16);
ylabel('Q [l]', 'FontSize', 16);
xlabel('t [h]', 'FontSize', 16);
grid on;
axcal=1;
if axcal==1 set(gca, ...
    'XLim',[0 24], 'YLim',[0 300]);
end; %scale for axes [min max], if axcal =0, automaticka meritka
title('Celkove odbrane mnozstvi vody', 'FontWeight', 'Bold');
jmeno=get(gcf, 'Name'); %jmeno bere ze jmena figure
f=fullfile(cesta, jmeno); %cestu a jmeno obrazku slozi do jmena souboru
if uloz==1 saveas(h, f, 'jpg'); saveas(h, f, 'fig'); %ulozi obrazek *.jpg
end;

```